



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb

Trubní propustky na lesních cestách z různých materiálů

Diplomová práce

Autor práce: Martin Duchan

Studijní program, obor: Lesní inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.

Konzultantka: Ing. Alena Tichá

2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Duchan

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Trubní propustky na lesních cestách z různých materiálů

Název anglicky

Pipe culverts on forest roads made of various materials

Cíle práce

Trubní propustky na lesních cestách tvoří velký podíl objektů na lesních cestách a jejich správná funkce je rozhodující pro spolehlivost zpřístupnění lesa. Cílem práce je posouzení potrubí trubních propustků lesních cest z různých materiálů z hlediska statické stability, hydraulické stability, ceny stavebních prací a náročnosti údržby. Práce bude realizována na 3 stávajících objektech na ŠLP Kostelec nad Černými lesy. Budou vybrány objekty o různé konstrukci a o různém podélném sklonu. Práce má srovnat výhody a nevýhody jednotlivých typů trubních propustků.

Metodika

- 1) Vyberte 3 vhodné trubní propustky na ŠLP Kostelec na Černými lesy, zjistěte povodí těchto propustků a zpracujte přehledové mapy těchto objektů;
- 2) Zpracujte rešerši týkající se výpočtu přítoku vody z povodí, hydraulický a statických výpočtů a požadavků na vybavení trubních propustků (čela, vtokové jímky, spadiště pod objektem apod.);
- 3) Zpracujte geodetické a hydrologické údaje pro posouzení a návrh trubních propustků;
- 4) Proveďte posouzení stávajících objektů;
- 5) Zpracujte návrhy trubních propustků s 3 různými troukami pro každý objekt. Při návrhu vycházejte z platné legislativy, z platných technických norem a ze zpracované rešerše. Návrhy zpracujte formou zjednodušené projektové dokumentace objektu včetně ceny stavebních prací;
- 6) Na základě výsledků sestavte doporučení pro použití různých materiálů trubních propustků na lesních cestách.

Harmonogram:

Květen až červenec 2021 – výběr vhodných lokalit a zpracování postupu měření

Srpen až říjen 2021 – terénní průzkum – sběr dat

Leden 2022 – předložení literární rešerše a zpracovaných dat ke kontrole

Březen 2022 – předložení technických návrhů, zhodnocených výsledků a diskuse diplomové práce



Doporučený rozsah práce

min. 40 normostran textu bez příloh

Klíčová slova

lesní cesty, trubní propustek, dimenzování

Doporučené zdroje informací

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 736108 : Lesní cestní síť. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI – ČSN 752106-2 : Hrazení bystřin a strží – Část 2: Navrhování konstrukcí a objektů hrazení bystřin a strží.. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.

ČESKÝ ÚŘAD PRO NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ – ČSN 75 2106-1 Hrazení bystřin a strží – Část 1: Obecně : česká technická norma. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

GALIA, Tomáš, Karel ŠILHÁN a Václav ŠKARPICH. The geomorphic impacts of culverts at paved forest roads: Examples from Carpathian headwater channels, Czech Republic. *Catena* [online]. 2017, 157, 424-435 [cit. 2021-03-30]. ISSN 03418162. Dostupné z: doi:10.1016/j.catena.2017.06.007

HANÁK, K. – ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. *Stavby pro plnění funkcí lesa*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-76-4.

MINEMATSU, Hirohiko a Osamu AKITA. A New Design Criterion for a Forest-Road Culvert [online]. 1987, 69(12), 489 [cit. 2021-03-30]. ISSN 0021485X. Dostupné z: doi:10.11519/jjfs1953.69.12_489

MINISTERSTVO DOPRAVY – TP 232 – Propustky a mosty malých rozpětí. Technické podmínky. Praha. DYP Brno s. r. o. 2012 Dostupné na [2021-03-28]:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwis1KOrvtLvAhWRAXAI3u5>

Potočník, I. The multiple use of forest roads and their classification. In: Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Sinaia, Romania 17-22 June, 1996, Rome: Food and agriculture organization of the United Nations, 1998

VOKURKA, A. – ZLATUŠKA, K. (eds.) Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR & Česká společnost krajinných inženýrů, z. s., 2020. 94 s. ISBN 978-80-7434-557-9 Dostupné na [2021-03-28]:

http://eagri.cz/public/web/file/651981/Technicka_doporuceni_hrazeni_bystrin_strzi_A4_WEB.pdf

ZLATUŠKA, K. (ed.) – BYSTRICKÝ, R. – JEŽEK, J. – NATOV, P. – SEKANINA, A. – TOMÁNEK, J. (2020) Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě. Ministerstvo zemědělství ČR & Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, katedra lesnických technologií a staveb. 124 s. ISBN 978-80-7434-556-2 Dostupné na [2021-03-28]:

http://eagri.cz/public/web/file/658791/Technicka_doporuceni_projektovani_lesni_dopravni_site_A4_WEB.p

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Konzultant

Ing. Alena Tichá

Elektronicky schváleno dne 13. 4. 2021

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 7. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 07. 2021

*Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „**Trubní propustky na lesních cestách z různých materiálů**“ vypracoval samostatně, vedoucím práce byl doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc a konzultantkou Ing. Alena Tichá. Použil jsem jen prameny, které jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.*

v Praze dne.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, doc. Ing. Karlu Zlatuškovi, CSc za příkladné vedení při zpracování této diplomové práce, poskytnutí potřebné odborné literatury a pomoc při zpracování rozpočtu. Dále děkuji konzultantce Ing. Aleně Tiché za pomoc při zpracování hydrotechnických výpočtů a vzorových výkresů.

Abstrakt

Tématem práce je posouzení trubních propustků, jakožto významných objektů na lesních cestách. Správný návrh a nadimenzování těchto objektů je klíčové pro zajištění jejich správné funkce a minimalizaci nákladů na výstavbu, ale zejména na provoz po celou dobu životnosti celé stavby. Správná volba použitých materiálů a samotné konstrukce objektu je základním předpokladem pro naplnění všech technických, ale i ekologických funkcí, které jsou na tyto objekty kladeny. Posuzované trubní propustky se nacházejí na ŠLP ČZU Kostelec nad Černými lesy. Cílem je zjistit, porovnat a posoudit výhody a nevýhody jednotlivých typů a konstrukcí trubních propustků. Posouzení bude probíhat provedením hydraulických výpočtů stávajících objektů, sestavením rozpočtu, a následným porovnáním se třemi novými návrhy pro každý objekt. Nové návrhy budou konstrukčně odpovídat aktuálně platné legislativě a budou zpracovány na základě geodetického a hydrologického průzkumu, provedeného na dané lokalitě, a následně provedených hydraulických výpočtů. Vzorové výkresy budou vytvořeny za pomoci programů Civil3D. Cena stavebních prací bude stanovena v programu KROS 4 s využitím cenové soustavy URS 2021-II. Zároveň budou porovnány různé metody hydraulických výpočtů za pomoci specializovaného software.

Klíčová slova: lesní cesty, trubní propustek, dimenzování

Abstract

The topic of the work is the assessment of pipe culverts, as important objects on forest roads. Proper design and oversizing of these buildings is key to ensuring their proper function and minimizing construction costs, but especially for operation throughout the life of the entire building. The correct choice of materials used and the construction of the building itself is a basic prerequisite for fulfilling all technical and environmental functions that are placed on these buildings. The assessed pipe culverts are located at the ŠLP CULS Kostelec nad Černými lesy. The aim is to find out, compare and assess the advantages and disadvantages of individual types and constructions of pipe culverts. The assessment will be performed by performing hydraulic calculations of existing objects, setting a budget, and subsequent comparison with three new designs for each object. The new proposals will structurally comply with the currently valid legislation and will be processed on the basis of geodetic and hydrological surveys carried out at the given locality, and subsequently performed hydraulic calculations. Sample drawings will be created using Civil3D. The price of construction work will be determined in the KROS 4 using URS 2021-II price system. At the same time, various methods of hydraulic calculations will be compared with the help of specialized software.

Keywords: *forest roads, pipe culvert, dimensioning*

OBSAH

PODĚKOVÁNÍ	7
ABSTRAKT.....	8
ABSTRACT.....	9
SEZNAM TABULEK.....	14
SEZNAM GRAFŮ	16
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	17
SEZNAM PŘÍLOH.....	21
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	22
<i>Hlavní zkratky při dimenzování dle TP 232</i>	<i>22</i>
<i>Vedlejší zkratky při dimenzování dle TP 232.....</i>	<i>23</i>
<i>Indexy u zkratk dle jejich umístění v rámci trasy při dimenzování dle TP 232</i>	<i>24</i>
<i>Obecné zkratky</i>	<i>24</i>
<i>Zkratky použité při modelování návrhového deště</i>	<i>24</i>
<i>Zkratky používané v programu Autodesk Civil 3D</i>	<i>25</i>
<i>Zkratky používané v programu HEC-RAS.....</i>	<i>26</i>
<i>Zkratky používané pro výpočet zatížení</i>	<i>26</i>
1. ÚVOD.....	27
2. CÍL PRÁCE	28
3. REŠERŠNÍ ČÁST.....	29
3.1. LESNÍ CESTY	29
3.1.1. <i>Kategorie lesních cest.....</i>	<i>29</i>
3.1.2. <i>Ostatní trasy pro lesní dopravu.....</i>	<i>29</i>
3.1.3. <i>Lesní cestní síť v ČR.....</i>	<i>31</i>
3.2. POŽADOVANÉ TECHNICKÉ PARAMETRY LESNÍCH CEST	32
3.3. PROPUSTKY	34
3.3.1. <i>Dělení propustků.....</i>	<i>34</i>
3.3.2. <i>Dělení propustků dle konstrukčního řešení v zahraniční literatuře</i>	<i>36</i>
3.3.3. <i>Dělení propustků dle hydraulického režimu v zahraniční literatuře</i>	<i>37</i>
3.4. OSTATNÍ OBJEKTY NA LESNÍCH CESTÁCH	39
3.4.1. <i>Mosty.....</i>	<i>39</i>
3.4.2. <i>Brody.....</i>	<i>39</i>
3.4.3. <i>Opěrné a zárubní zdi.....</i>	<i>40</i>
3.4.4. <i>Výhybny.....</i>	<i>40</i>

3.4.5.	<i>Obratiště</i>	40
3.4.6.	<i>Lesní sklady</i>	41
3.4.7.	<i>Sjezdy</i>	41
3.4.8.	<i>Bezpečnostní prvky a ostatní objekty</i>	41
3.5.	VLIV KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ NA HYDRAULICKÉ VLASTNOSTI	42
3.5.1.	<i>Úprava vtoku propustku</i>	42
3.5.2.	<i>Sklon dna propustku</i>	44
3.5.3.	<i>Materiál propustku</i>	44
3.5.4.	<i>Úprava výtokové části</i>	46
3.5.5.	<i>Konstrukce pro zachycení splávi</i>	46
3.6.	DĚLENÍ PROPUSTKŮ DLE HYDRAULICKÝCH VLASTNOSTÍ	47
3.7.	PROPUSTKY S VOLNOU HLADINOU	49
3.7.1.	<i>Propustky s volnou hladinou neovlivněné dolní vodou</i>	51
3.7.2.	<i>Propustky s volnou hladinou ovlivněné dolní vodou</i>	53
3.8.	PROPUSTKY SE ZAHLCENÝM VTOKEM	55
3.8.1.	<i>Propustky se zatopeným vtokem neovlivněné dolní vodou</i>	55
3.8.2.	<i>Propustky se zatopeným vtokem ovlivněné dolní vodou</i>	57
3.9.	PROPUSTKY S TLAKOVÝM PROUDĚNÍM	58
3.9.1.	<i>Propustky s tlakovým prouděním s nezatopeným výtokem</i>	59
3.9.2.	<i>Propustky s tlakovým prouděním se zatopeným výtokem</i>	61
3.9.3.	<i>Přeliv přes korunu cesty</i>	61
3.10.	VYBAVENÍ TRUBNÍCH PROPUSTKŮ	62
3.10.1.	<i>Vtokové jímky</i>	62
3.10.2.	<i>Konstrukce pro řízení splávi</i>	64
3.10.3.	<i>Spadiště za propustkem</i>	66
3.10.4.	<i>Čelo propustku</i>	68
3.10.5.	<i>Vývar za propustkem</i>	69
3.11.	NÁVRHOVÝ PRŮTOK PROPUSTKŮ NA LESNÍCH CESTÁCH	70
3.11.1.	<i>Dimenzování na N-letý průtok</i>	70
3.11.2.	<i>Dimenzování metodou modelového deště</i>	70
3.12.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PROPUSTKU	71
3.12.1.	<i>Směrové řešení vůči trase cesty</i>	71
3.12.2.	<i>Podélný sklon a rozměry</i>	71
3.12.3.	<i>Materiál propustku</i>	72
3.13.	ZEMNÍ PRÁCE, ULOŽENÍ A ZATÍŽENÍ PROPUSTKU	75
3.13.1.	<i>Ukládání do rýhy nebo zářezu</i>	75
3.13.2.	<i>Ukládání bez výkopu</i>	75
3.13.3.	<i>Lože trouby</i>	76
3.13.4.	<i>Deformace podloží</i>	77
3.13.5.	<i>Zásyp a obsyp propustku</i>	78

3.14.	ZATÍŽENÍ A STATICKÉ ŘEŠENÍ PROPUSTKU	79
3.14.1.	<i>Zatížení vlastní tíhou</i>	79
3.14.2.	<i>Tíha a tlak vody uvnitř propustku</i>	79
3.14.3.	<i>Svislé zatížení zeminou</i>	80
3.14.4.	<i>Zatížení přejezdem mechanizace</i>	81
3.14.5.	<i>Zatížení podzemní vodou</i>	81
3.14.6.	<i>Ostatní zatížení</i>	81
3.15.	KONTROLA A PÉČE O PROPUSTKY	82
3.16.	VYUŽITÍ SOFTWARE PRO NAVRHOVÁNÍ PROPUSTKŮ	83
3.16.1.	<i>Konform</i>	83
3.16.2.	<i>Autodesk CIVIL-3D</i>	84
3.16.3.	<i>Hydraflow Express</i>	85
3.16.4.	<i>ArcGIS Desktop</i>	85
3.16.5.	<i>Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method</i>	86
3.16.6.	<i>HEC-RAS</i>	87
3.16.7.	<i>HydroCAD</i>	88
3.16.8.	<i>KROS 4</i>	88
4.	METODIKA	89
4.1.	POPIS LOKALIT	89
4.1.1.	<i>Lokalita č. 1</i>	90
4.1.2.	<i>Lokalita č. 2</i>	91
4.1.3.	<i>Lokalita č. 3</i>	92
4.2.	VÝPOČET NÁVRHOVÉHO PRŮTOKU	93
4.3.	POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH OBJEKTŮ	94
4.4.	NÁVRH NOVÝCH OBJEKTŮ	96
4.4.1.	<i>Návrh konstrukčního řešení</i>	96
4.4.2.	<i>Zvolený režim proudění propustkem</i>	97
4.4.3.	<i>Hydraulické posouzení</i>	97
4.5.	HODNOCENÍ VLIVU MATERIÁLU PROPUSTKU	99
4.5.1.	<i>Hodnocení vlivu materiálu na proudění propustkem</i>	99
4.5.2.	<i>Hodnocení vlivu materiálu na náklady na vybudování propustku</i>	99
4.6.	HYDRAULICKÉ POSOUZENÍ PROPUSTKŮ POMOCÍ SOFTWARE	101
4.6.1.	<i>Hydraflow Express</i>	101
4.6.2.	<i>Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method</i>	102
4.6.3.	<i>HEC-RAS</i>	104
5.	VÝSLEDKY	105
5.1.	VÝPOČET NÁVRHOVÉHO PRŮTOKU	105
5.2.	POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍCH OBJEKTŮ	106
5.2.1.	<i>Lokalita 1</i>	107

5.2.2.	<i>Lokalita 2</i>	108
5.2.3.	<i>Lokalita 3</i>	109
5.3.	NÁVRH NOVÝCH OBJEKTŮ	110
5.3.1.	<i>Lokalita 1</i>	110
5.3.2.	<i>Lokalita 2</i>	112
5.3.3.	<i>Lokalita 3</i>	114
5.4.	VLIV MATERIÁLU PROPUSTKU	117
5.4.1.	<i>Vlivu materiálu na proudění propustkem</i>	117
5.4.2.	<i>Vliv materiálu na náklady na vybudování propustku</i>	120
5.5.	HYDRAULICKÉ POSOUZENÍ PROPUSTKU POMOCÍ SOFTWARE	121
5.5.1.	<i>Posouzení pomocí Hydraflow Express</i>	121
5.5.2.	<i>Posouzení kalkulátorem „Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“</i>	123
5.5.3.	<i>Posouzení pomocí programu HEC-RAS</i>	124
6.	DISKUSE	129
6.1.	STAV STÁVAJÍCÍCH OBJEKTŮ	129
6.2.	POROVNÁNÍ METOD POSUZOVÁNÍ PROPUSTKŮ	130
6.2.1.	<i>Referenční metoda posouzení dle TP 232</i>	130
6.2.2.	<i>Porovnání posouzení pomocí Hydraflow Express s referenční metodou</i>	131
6.2.3.	<i>Porovnání posouzení pomocí „Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“ s referenční metodou</i>	132
6.2.4.	<i>Porovnání posouzení pomocí programu HEC-RAS s referenční metodou</i>	133
6.2.5.	<i>Porovnání společných hodnot ze všech metod posouzení</i>	134
6.3.	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ	135
6.3.1.	<i>Porovnání vlivu materiálu na hydraulické vlastnosti</i>	135
6.3.2.	<i>Porovnání vlivu materiálu na délku spadiště a způsob jejího výpočtu</i>	136
6.3.3.	<i>Porovnání vlivu materiálu na náklady na vybudování propustku</i>	136
7.	ZÁVĚR	137
8.	POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA	139
9.	PŘÍLOHY	143

Seznam tabulek

TABULKA 3-1 HODNOTY SOUČINITELŮ PRO ZÁKLADNÍ TYPY ÚPRAV VTOKU. ZDROJ: TP 232	43
TABULKA 3-2 HODNOTY MANNINGOVA SOUČINITELE DRSNOSTI PRO RŮZNÉ MATERIÁLY PROPUSTKU. ZDROJ: (TP 232).....	44
TABULKA 3-3 HODNOTY EXPONENTU Y PRO RŮZNÉ STUPNĚ DRSNOSTI N . (MACURA 1958)	67
TABULKA 3-4 HODNOTA KONSTANTY C DLE VELIKOSTI SMĚRODATNÉHO ZRNA. ZDROJ: (TD HB)	68
TABULKA 3-5 HODNOTY KONSTANTY A UVÁDĚNÉ RŮZNYMI AUTORY. ZDROJ: MACURA 1958)	68
TABULKA 3-6 DOPORUČENÉ ROZMĚRY PROPUSTKU DLE NORMY. (ČSN 73 6201).....	71
TABULKA 4-1 PARAMETRY SOUČASNÝCH OBJEKTŮ PRO VÝPOČET KAPACITNÍHO PRŮTOKU.....	94
TABULKA 4-2 POROVNÁNÍ PRŮTOKŮ SOUČASNÝCH OBJEKTŮ S POŽADOVANÝMI HODNOTAMI.....	94
TABULKA 4-3 HODNOTY MANNINGOVA SOUČINITELE DRSNOSTI PRO RŮZNÉ MATERIÁLY TRUB.....	96
TABULKA 4-4 NÁVRHOVÉ HODNOTY SKLONU DNA PROPUSTKU NA JEDNOTLIVÝCH LOKALITÁCH.	96
TABULKA 5-1 PARAMETRY NÁVRHOVÉHO PRŮTOKU PRO JEDNOTLIVÉ LOKALITY.....	105
TABULKA 5-2 PARAMETRY STÁVAJÍCÍHO PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.1.....	107
TABULKA 5-3 PARAMETRY STÁVAJÍCÍHO PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.2.....	108
TABULKA 5-4 PARAMETRY STÁVAJÍCÍHO PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.3.....	109
TABULKA 5-5 POROVNÁNÍ MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.1 DLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ. * LZE POUŽÍT ZA PŘEDPOKLADU ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI POUŽITÍM ÚPRAVY VTOKU.....	110
TABULKA 5-6 PARAMETRY PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.1.	110
TABULKA 5-7 POROVNÁNÍ MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.2 DLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ.	112
TABULKA 5-8 PARAMETRY PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.2.	112
TABULKA 5-9 POROVNÁNÍ MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.3 DLE RŮZNÝCH KRITÉRIÍ.	114

TABULKA 5-10 PARAMETRY PROPUSTKU NA LOKALITĚ Č.3.	115
TABULKA 5-11 PARAMETRY PRVNÍHO PROFILU V PROPUSTKU.	117
TABULKA 5-12 PARAMETRY KONCOVÉHO PROFILU PRO BETONOVÉ POTRUBÍ.	118
TABULKA 5-13 PARAMETRY KONCOVÉHO PROFILU PRO OCELOVÉ POTRUBÍ.	118
TABULKA 5-14 PARAMETRY KONCOVÉHO PROFILU PRO PLASTOVÉ POTRUBÍ.	118
TABULKA 5-15 POROVNÁNÍ ENERGIE PROFILU NA KONCI PROPUSTKU PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY.	118
TABULKA 5-16 DÉLKA SPADIŠTĚ PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY.	119
TABULKA 5-17 NÁKLADY NA STAVBU PROPUSTKU DLE MATERIÁLU TROUBY.	120
TABULKA 5-18 OBJEM ZEMNÍCH PRACÍ PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY.	120
TABULKA 5-19 PARAMETRY PROUDĚNÍ V BETONOVÉM POTRUBÍ. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS.	122
TABULKA 5-20 PARAMETRY PROUDĚNÍ V OCELOVÉM POTRUBÍ. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS.	122
TABULKA 5-21 PARAMETRY PROUDĚNÍ V PLASTOVÉM POTRUBÍ. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS.	122
TABULKA 5-22 POROVNÁNÍ ENERGIE PROFILU NA KONCI PROPUSTKU PRO JEDNOTLIVÉ MATERIÁLY.	122
TABULKA 5-23 PARAMETRY PROUDĚNÍ V BETONOVÉM POTRUBÍ DN 600 S ÚPRAVOU VTOKU ZAOBLENÍM. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS.	122
TABULKA 5-24 PARAMETRY PROPUSTKU S POTRUBÍM O ROZMĚRU DN 600, PRO TYP VTOKU Č. 4.	123
TABULKA 5-25 HODNOTY PROUDĚNÍ V PŘÍČNÝCH ŘEZECH STANOVENÉ PROGRAMEM HEC-RAS.	128
TABULKA 6-1 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ NA KONCI PROPUSTKU DLE METODY POSOUZENÍ.	131
TABULKA 6-2 POROVNÁNÍ HLOUBKY NA VÝTOKU Z PROPUSTKU MEZI HEC-RAS A TP 232.	133
TABULKA 6-3 PROCENTUÁLNÍ ROZDÍL V ENERGETICKÉ VÝŠCE MEZI POTRUBÍM O RŮZNÉ DRSNOSTI PŘI SKLONU DNA PROPUSTKU 8%.	135

Seznam grafů

GRAF 6-1 POROVNÁNÍ HODNOTY ENERGETICKÉ VÝŠKY NA KONCI PROPUSTKU O RŮZNÝCH DÉLKÁCH.....	132
GRAF 6-2 POROVNÁNÍ HLOUBKY METOD POSOUZENÍ PROPUSTKU DLE PARAMETRŮ PROUDĚNÍ PROPUSTKEM.	134

Seznam obrázků

OBRÁZEK 3-1 STRUKTURA LESNÍCH CEST V ÚDOLÍ. ZDROJ: TD LDS	30
OBRÁZEK 3-2 SMĚRODATNÉ VOZIDLO DLE NORMY ČSN 73 6108	32
OBRÁZEK 3-3 TYPY KONSTRUKCE PROPUSTKŮ. ZDROJ: TD LDS.....	35
OBRÁZEK 3-4 BĚŽNĚ UŽÍVANÉ TVARY PROPUSTKŮ. ZDROJ: HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS. FIG. F1.5 A-B.....	36
OBRÁZEK 3-5 PŘÍKLAD PROPUSTKU S KONTROLOU VTOKEM. ZDROJ: HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS 2012. FIG 6.7.....	38
OBRÁZEK 3-6 PŘÍKLAD PROPUSTKU S KONTROLOU VÝTOKEM. ZDROJ: HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS 2012. FIG 6.8.....	38
OBRÁZEK 3-7 ZÁKLADNÍ TYPY ÚPRAV VTOKU.....	43
OBRÁZEK 3-8 PŘECHOD OBDÉLNÍKOVÉHO VTOKU DO KULATÉHO PROPUSTKU.....	43
OBRÁZEK 3-9 PŘÍKLAD BETONOVÉ TROUBY. ZDROJ: HTTPS://WWW.PREFA.CZ/WPCONTENT/GALLERY/TROUBY-KRUHOVE/TROUBY-KRUHOVE-02.JPG	45
OBRÁZEK 3-10 PŘÍKLAD OCELOVÉ TROUBY. ZDROJ: HTTP://CZ.LKSTEELPIPE.COM/CONTENT/UPLOAD/20199971/201909022304082452862.JPG	45
OBRÁZEK 3-11 SCHÉMA PROPUSTKU O VOLNÉ HLADINĚ NEOVLIVNĚNÉHO SPODNÍ VODOU. ZDROJ: TP 232.....	51
OBRÁZEK 3-12 SCHÉMA NEROVNOMĚRNÉHO USTÁLENÉHO PROUDĚNÍ PROPUSTKEM. ZDROJ: TP 232	53
OBRÁZEK 3-13 SCHÉMA PROPUSTKU S VOLNOU HLADINOU OVLIVNĚNÉHO DOLNÍ VODOU. ZDROJ: TP 232.....	54
OBRÁZEK 3-14 SCHÉMA PROPUSTKU SE ZAHLCENÝM VTOKEM NEOVLIVNĚNÝM DOLNÍ VODOU. ZDROJ: TP 232.....	55
OBRÁZEK 3-15 SCHÉMA PROPUSTKU SE ZAHLCENÝM VTOKEM OVLIVNĚNÉHO DOLNÍ VODOU. ZDROJ: TP 232.....	57
OBRÁZEK 3-16 SCHÉMA PROPUSTKU S TLAKOVÝM PROUDĚNÍM A NEZATOPENÝM VÝTOKEM. ZDROJ: TP 232	60
OBRÁZEK 3-17 SCHÉMA PROPUSTKU S TLAKOVÝM PROUDĚNÍM A ZATOPENÝM VÝTOKEM. ZDROJ: TP 232	61
OBRÁZEK 3-18 TECHNICKÝ NÁKRES VTOKOVÉ JÍMKY PŘED PROPUSTKEM. ZDROJ: TD LDS	62

OBRÁZEK 3-19 VTOKOVÁ JÍMKA JAKO SOUČÁST ÚPRAVY VTOKU DO PROPUSTKU. ZDROJ: TP 232	63
OBRÁZEK 3-20 SPLÁVÍ V KORYTĚ TOKU. ZDROJ: HTTPS://WWW.EDPP.CZ/DOU_FOTODOKUMENTACE/	64
OBRÁZEK 3-21 DEFLEKTOR SPLÁVÍ. ZDROJ: TP 232	64
OBRÁZEK 3-22 KONSTUKCE PRO ZACHYCENÍ SPLÁVÍ NAD PROPUSTKEM. ZDROJ: CULVERT DESIGN AND OPERATION GUIDE FIGURE 5.3	65
OBRÁZEK 2-23 SPADIŠTĚ ZA PROPUSTKEM. ZDROJ: TP 204	66
OBRÁZEK 3-24 VÝVAR ZA PROPUSTKEM. ZDROJ: TP 204.....	69
OBRÁZEK 3-25 BETONOVÁ TROUBA, SEGMENTY. ZDROJ: HTTPS://WWW.PREFA.CZ/WP-CONTENT/GALLERY/TROUBY-KRUHOVE/TROUBY-KRUHOVE-02.JPG	72
OBRÁZEK 3-26 OCELOVÁ TROUBA. ZDROJ: HTTPS://WWW.MTZ-SERVIS.CZ/OBRAZEK/2/NOVE-TRUBKY-S-ATESTEM-JPG/	73
OBRÁZEK 3-27 PLASTOVÁ TROUBA. ZDROJ: HTTPS://PKVPLUS.S6.CDN-UPDATES.COM/_CACHE/8/1/811E9940CC416A8E4A5430D3F62D64D8.JPG	74
OBRÁZEK 3-28 PŘÍČNÝ ŘEZ TRASOU PROPUSTKU ULOŽENÉHO VE VÝKOPU S RŮZNOU KONSTRUKCÍ LOŽE. ZDROJ: (TNV 75 0211)	75
OBRÁZEK 3-29 KONSTRUKCE LOŽE POD PROPUSTKEM, VLEVO PODDAJNÉ POTRUBÍ, VPRAVO TUHÉ POTRUBÍ V BETONOVÉM SEDLE. ZDROJ: (TNV 75 0211).....	76
OBRÁZEK 3-30 PŘÍKLAD ALTERNATIVNÍCH KONSTRUKCÍ LOŽE PROPUSTKU. ZDROJ: PARTINGTON 2013.....	77
OBRÁZEK 3-31 DEFORMACE PROPUSTKU V DŮSLEDKU SEDNUTÍ. ZDROJ: TP 94.....	77
OBRÁZEK 3-32 STANOVENÍ NADVÝŠENÍ PODLOŽÍ. ZDROJ TP 94.....	78
OBRÁZEK 3-33 PROSTŘEDÍ PROGRAMU KONFORM.	83
OBRÁZEK 3-34 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ PROGRAMU CIVIL-3D SE SITUACÍ.	84
OBRÁZEK 3-35 PROSTŘEDÍ APLIKACE HYDRAFLOW EXPRESS.	85
OBRÁZEK 3-36 NÁHLED WEBOVÉ STRÁNKY KALKULÁTORU FHWA. ZDROJ: HTTP://UON.SDSU.EDU/ONLINECULVERT.PHP	86
OBRÁZEK 3-37 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ PROGRAMU HEC-RAS	87
OBRÁZEK 3-38 PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ PROGRAMU KROS 4. ZDROJ: HTTPS://WWW.URS.CZ/ASSETS/IMG/01-1583090751.PNG	88
OBRÁZEK Č. 4-1 MAPA LOKALIT. ZDROJ: HTTPS://SGI-NAHLIZENIDOKN.CUZK.CZ/	89

OBRÁZEK Č. 4-2 STÁVAJÍCÍ PROPUSTEK NA LOKALITĚ Č. 1. ZDROJ: VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE	90
OBRÁZEK Č. 4-3 STÁVAJÍCÍ PROPUSTEK NA LOKALITĚ Č. 2. ZDROJ: VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE	91
OBRÁZEK Č. 4-4 STÁVAJÍCÍ PROPUSTEK NA LOKALITĚ Č. 3. ZDROJ: VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE	92
OBRÁZEK 4-5 SESTROJENÁ ROZVODNICE PRO JEDU Z LOKALIT V PROGRAMU CIVIL-3D.	93
OBRÁZEK 4-6 PODÉLNÝ PROFIL STÁVAJÍCÍHO OBJEKTU A KORYTA SE SKLONY V PROGRAMU CIVIL-3D.	95
OBRÁZEK 4-7 EDITOR GEOMETRIE V PROGRAMU CIVIL-3D S HODNOTAMI PODÉLNÉHO SKLONU TRASY.	95
OBRÁZEK 4-8 SCHEMATICKÉ ZOBRAZENÍ JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ PROUDĚNÍ A POUŽITÝCH ZKRATEK.	98
OBRÁZEK 4-9 POVRCH ZEMNÍHO TĚLESA VÝKOPU.	100
OBRÁZEK 4-10 POVRCH ZEMNÍHO TĚLESA VÝKOPU V TERÉNU.	100
OBRÁZEK 4-11 VYPLNĚNÉ VSTUPNÍ PARAMETRY V PROGRAMU HYDRAFLOW EXPRESS.	101
OBRÁZEK 4-12 SCHEMATICKÝ OBRÁZEK VSTUPNÍCH PARAMETRŮ. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS	102
OBRÁZEK 4-13 SCHEMATICKÝ OBRÁZEK VSTUPNÍCH PARAMETRŮ. KALKULÁTOR ONLINE CULVERT FHWA ZDROJ: HTTP://UON.SDSU.EDU/ONLINECULVERT.PHP	102
OBRÁZEK 4-14 VYPLNĚNÉ VSTUPNÍ PARAMETRY ONLINE KALKULÁTORU ONLINE CULVERT FHWA. ZDROJ: HTTP://UON.SDSU.EDU/ONLINECULVERT.PHP	103
OBRÁZEK 4-15 PARAMETRY PŘÍČNÉHO ŘEZU KORYTA V PROGRAMU HECRAS.	104
OBRÁZEK 4-16 PARAMETRY PROPUSTKU V PROGRAMU HECRAS	104
OBRÁZEK 5-1 FOTOGRAFIE STÁVAJÍCÍHO OBJEKTU NA LOKALITĚ Č.1. ZDROJ: VLASTNÍ FOTODOKUMENTACE	106
OBRÁZEK 5-2 PODÉLNÝ PROFIL STÁVAJÍCÍ TRASY NA LOKALITĚ Č.1.	107
OBRÁZEK 5-3 PODÉLNÝ PROFIL STÁVAJÍCÍ TRASY NA LOKALITĚ Č. 2.	108
OBRÁZEK 5-4 PODÉLNÝ PROFIL STÁVAJÍCÍ TRASY NA LOKALITĚ Č. 3.	109
OBRÁZEK 5-5 PODÉLNÝ PROFIL NOVÉ TRASY NA LOKALITĚ Č. 1.	111
OBRÁZEK 5-6 PODÉLNÝ PROFIL NOVÉ TRASY NA LOKALITĚ Č. 2.	113
OBRÁZEK 5-7 PODÉLNÝ PROFIL NOVÉ TRASY NA LOKALITĚ Č. 3.	116

OBRÁZEK 5-8 PRŮBĚH HLADINY V PROPUSTKU. PROGRAM HYDRAFLOW EXPRESS.....	121
OBRÁZEK 5-9 VÝSTUP Z ONLINE KALKULÁTORU ONLINE CULVERT FHWA. ZDROJ: HTTP://UON.SDSU.EDU/ONLINECULVERT.PHP	123
OBRÁZEK 5-10 PODÉLNÝ PROFIL PROUDĚNÍ V TRASE. PROGRAM HEC-RAS.....	124
OBRÁZEK 5-11 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,0350, HLOUBKA 0.33 M. PROGRAM HEC- RAS.....	124
OBRÁZEK 5-12 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,03242, HLOUBKA 0.51 M. PROGRAM HEC RAS.....	125
OBRÁZEK 5-13 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,03001, HLOUBKA 0.74 M. PROGRAM HEC RAS.....	125
OBRÁZEK 5-14 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,02999, HLOUBKA 0.5 M. PROGRAM HEC RAS.....	126
OBRÁZEK 5-15 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,02001, HLOUBKA 0.27 M. PROGRAM HEC RAS.....	126
OBRÁZEK 5-16 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,01999, HLOUBKA 0.27 M. PROGRAM HEC RAS.....	127
OBRÁZEK 5-17 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,01800, HLOUBKA 0.35 M. PROGRAM HEC RAS.....	127
OBRÁZEK 5-18 PŘÍČNÝ ŘEZ VE STANIČENÍ KM 0,01600, HLOUBKA 0.33 M. PROGRAM HEC RAS.....	128
OBRÁZEK 6-1 TABULKA PRO VÝPOČET PARAMETRŮ V JEDNOTLIVÝCH ÚSECÍCH.....	130

Seznam příloh

VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 1 SITUACE.....	144
VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 1 ŘEZ A – A'.....	145
VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 2 SITUACE.....	146
VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 2 ŘEZ A – A'.....	147
VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 3 SITUACE.....	148
VZOROVÝ VÝKRES PROPUSTKU LOKALITA Č. 3 ŘEZ A – A'.....	149

Seznam zkratk a symbolů

Hlavní zkratky při dimenzování dle TP 232

Q = obecně průtok (vztaženo ke konkrétnímu výpočtu) (m_3s^{-1})

Q_n = návrhový průtok na n let

Q_{dim} = návrhový průtok, na který je objekt dimenzován

Q₀ = průtok přes korunu lesní cesty

Q_D = kapacitní průtok

h = obecně hloubka (vztaženo ke konkrétnímu výpočtu) (m)

h_h = nevzdutá hloubka vody v korytě před propustkem dle TP 232 pouze h

h₀ = vzdutá hloubka vody těsně před vtokem do propustku

h_c = zúžená hloubka za vtokem do propustku

h_k = kritická hloubka

h₁ = hloubka v prvním úseku propustku pro účely zjištění průběhu hladiny metodou po úsecích, zde shodná s hloubkou h_c

h_n = hloubka v dalších úsecích při vyšetřování průběhu hladiny metodou po úsecích

h_{kp} = hloubka na konci propustku

h_s = hloubka v polovině účinné délky spadiště

h_d = hloubka vody pod propustkem

v = obecně rychlost proudění (vztaženo ke konkrétnímu výpočtu) (ms^{-1})

v_h = rychlost v korytě před propustkem (neovlivněno propustkem)

v₀ = rychlost v korytě těsně před propustkem (maximální ovlivnění propustkem)

v_c = rychlost v místě zúžené hloubky h_c

v₁ = rychlost v prvním úseku propustku pro účely zjištění průběhu hladiny metodou po úsecích, zde shodná s hloubkou v_c

v_n = rychlost v dalších úsecích při vyšetřování průběhu hladiny metodou po úsecích

v_{kp} = rychlost na konci propustku

v_s = rychlost v polovině účinné délky spadiště

v_d = rychlost v korytě pod propustkem

Vedlejší zkratky při dimenzování dle TP 232

S = průtočná plocha (m²)

R = hydraulický poloměr

O = omočený obvod (m)

C = rychlostní součinitel

e = energetický profil, energetická výška (m)

i = sklon v % (bez indexu platí pro propustek)

IE = sklon čáry energie (%) (bez indexu platí pro propustek)

n = manningův drsnostní součinitel (bez indexu platí pro propustek)

k = výška výstupků ve spadišti pro výpočet dle Mostkovova vzorce (m)

c = konstanta c podle Nováka

dm = směrodatné zrno (m)

f = Froudeho číslo

B = šířka v hladině (m)

b = šířka ve dně (m)

m = pořadnice svahu břehů (1:m)

D = průměr propustku vnitřní (m)

r = poloměr propustku (m)

i min = minimální sklon propustku při zachování volné hladiny (%)

L = délka propustku (m)

dL = délka úseku pro vyšetřování průběhu hladiny metodou po úsecích (m)

a = coriolisovo číslo

g = gravitační zrychlení

Δ = rozdíl hladin

DN = označení rozměru trouby dle vnitřního průměru

Indexy u zkratk dle jejich umístění v rámci trasy při dimenzování dle TP 232

h = koryto před propustkem neovlivněné vzduším

0 = koryto těsně před vtokem ovlivněné vzduším

c = místo zúžené hloubky za vtokem do propustku

1 = první úsek při vyšetřování hladiny metodou po úsecích

n = další úsek při vyšetřování hladiny metodou po úsecích

kp = konec propustku

s = polovina účinné délky spadiště

d = koryto pod propustkem

Obecné zkratky

TP 232 = Technické podmínky: Propustky a mosty malých rozpětí

TP 204 = Technické podmínky: Hydrotechnické posouzení objektů na vodních tocích

TP 94 = Technické podmínky: Úprava zemin

TP 83 = Technické podmínky: Odvodnění pozemních komunikací

TPD 2019 = Technické podmínky dodací Prefa-Brno 2019

TD LDS = Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě 2020

TD HB = Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží 2020

LDS = Lesní dopravní síť

LCS = Lesní cestní síť

UHUL = Ústav pro hospodářskou úpravu lesů

S-JTSK = Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Zkratky použité při modelování návrhového deště

Q_{dim} = návrhový průtok (m_3s^{-1})

P = plocha povodí (ha)

P_{red} = redukováná suma dílčích ploch povodí (ha)

q_s = intenzita návrhového deště pro danou oblast (ls^{-1})

P_i = dílčí plocha povodí (ha)

Y_i = dílčí součinitel odtoku

Zkratky používané v programu Autodesk Civil 3D

Civil-3D = zkrácený název programu

Hdraflow = zkrácený název rozšíření Hydraflow Expres z programu Autodesk Civil-3D

Q = průtok m_3s^{-1}

Veloc. = rychlost ms^{-1}

Depth = hloubka (mm)

HGL = niveleta hladiny (m n. m.)

EGL = niveleta energetického horizontu (m n.m.)

Inv Elev Up = nadmořská výška vtoku do propustku (m n. m.)

Inv Elev Dn = nadmořská výška konce propustku (m n. m.)

Slope = sklon propustku (%)

Lenght = délka propustku (m)

Rise = průměr propustku (m)

Span = šíře propustku, rovno výšce v případě kruhového tvaru (m)

No. Barrels = počet trub propustku

n = drsnost potrubí dle Manninga

Culvert Type = typ / tvar propustku

Culvert Entrance = typ vtoku

Top Elev = nadmořská výška koruny cesty (m n. m.)

Top Width = šíře cesty (m)

Crest Len = šíře přelivu v případě přelivu přes korunu lesní cesty (m)

TW = hladina vody pod propustkem (m)

HW = hladina vody před propustkem, včetně vzduť (m)

Zkratky používané v programu HEC-RAS

EG = niveleta energetického profilu, ekvivalent EGL (m n. m.)

WS = niveleta hladiny, ekvivalent HGL (m n. m.)

Crit. = niveleta profilu kritické hloubky (m n. m.)

Ground = niveleta dna (m n. m.)

Zkratky používané pro výpočet zatížení

K_0 = součinitel zemního tlaku

z = hloubka zásypu (m)

Φ = efektivní hodnota úhlu vnitřního tření zeminy

G_{dr} = návrhové rýhové zatížení (kN/m^2)

G_r = rýhové zatížení propustku (kN/m^2)

G_{dk} = návrhová hodnota zatížení vlastní tíhou (kN/m^2)

G_k = charakteristická hodnota zatížení vlastní tíhou (kN/m^2)

G_p = zatížení přejezdem mechanizace (kN/m^2)

p_0 = zatížení vozovky (kN/m^2)

α_z = úhel roznosu sil v zásypu

γ_g = dílčí součinitel stálého zatížení vlastní tíhou

γ_z = objemová tíha zeminy

R_{oc} = číslo prekonsolidace zeminy

K_r = součinitel rýhového zatížení

1. Úvod

Trubní propustky na lesních cestách tvoří velký podíl objektů na lesních cestách; na ostatních trasách pro lesní dopravu jsou spolu s brody jedinými objekty. Jejich správná funkce je rozhodující pro spolehlivost zpřístupnění lesa. Bude posuzováno potrubí trubních propustků lesních cest z různých materiálů z hlediska statické stability, hydraulické stability, ceny stavebních prací a náročnosti údržby. Práce bude realizována na 3 stávajících objektech na ŠLP Kostelec nad Černými lesy. Jsou zvoleny objekty o různé konstrukci a o různém podélném sklonu. Práce má srovnat výhody a nevýhody jednotlivých typů trubních propustků.

2. Cíl práce

Cílem práce je zjištění technického stavu a posouzení hydrologických vlastností 3 vybraných trubních propustků na ŠLP ČZU Kostelec nad Černými lesy z hlediska platných technických a právních norem. Dále budou pro každou lokalitu navrženy trubní propustky ve 3 různých materiálových variantách za respektování platných technických a právních norem. Návrhy budou zpracovány formou vzorových technických výkresů. Zvolené konstrukce budou následně porovnány z hlediska ceny stavebních prací, hydraulických vlastností, hydrologických vlastností a nároků na údržbu. Výsledkem budou doporučení a limity použití různých konstrukcí trubních propustků v praxi na lesních cestách.

3. Rešeršní část

3.1. Lesní cesty

Lesní cesta je účelová pozemní komunikace, sloužící k dopravnímu zpřístupnění lesů, propojení s ostatními komunikacemi, která převážně slouží k odvozu dříví, těžebních zbytků nebo jiných produktů lesní těžby, rovněž také k dopravě osob, materiálů a strojů, využívaných k hospodaření v lese. Zároveň je nezbytná k provádění záchranných a likvidačních prací složkami integrovaného záchranného systému. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

3.1.1. Kategorie lesních cest

Lesní cesty se dělí na cesty pro celoroční provoz (1L) a sezónní provoz (2L), přičemž se vychází z prostorového uspořádání a technické vybavenosti cesty, kdy je klíčové zda cesta je sjízdná celoročně bez vzniku nadměrného poškození. (ČSN 73 6108)

Dohromady tvoří lesní cesty tzv. lesní cestní síť (LCS), do které mimo lesní cesty patří i přilehlé lesní sklady, obratiště, výhybny a ostatní objekty potřebné ke správné funkci LCS. Lesní cestní síť je součástí lesní dopravní sítě. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

Lesní cesty se dělí do návrhových kategorií podle druhu lesní cesty, volné šíře cesty a návrhové rychlosti, ve formátu 1L 4,0/20, kdy jde o cestu pro celoroční provoz, s volnou šíří 4 metry a návrhovou rychlostí 20 km/h. (ČSN 73 6108)

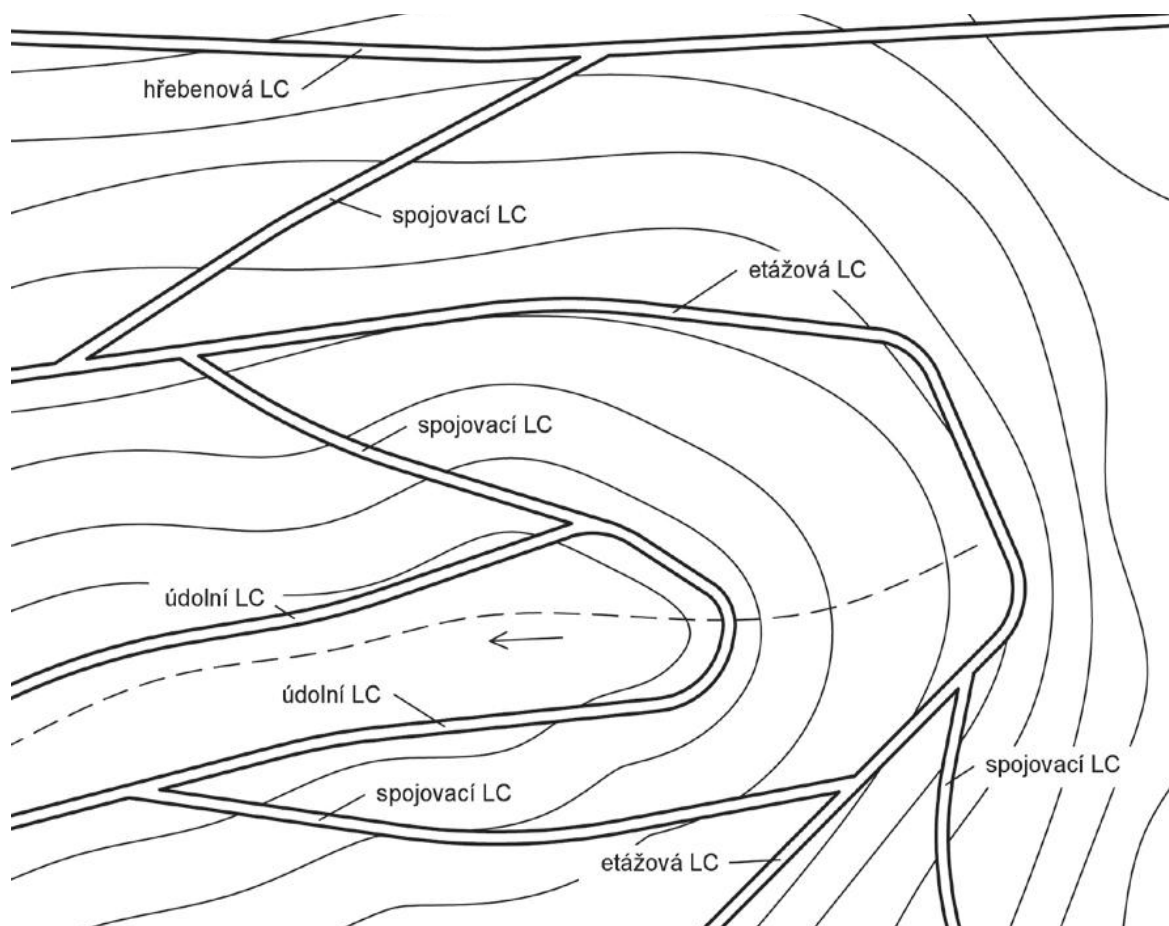
3.1.2. Ostatní trasy pro lesní dopravu

Doplněním LCS o ostatní trasy pro lesní dopravu vzniká Lesní dopravní síť (LDS). Do těchto tras patří především dvě hlavní skupiny tras, lesní svážnice a technologické linky, dále pak trasy pro lanovky a železnice. (TD LDS)

Lesní svážnice (3L) slouží pro spojení technologických linek s lesní cestní sítí. Nepovažují se za účelové komunikace, minimální volná šíře jsou 3 metry. U lesních svážnic se nenavrhuje vozovka ani výhybny, v případě potřeby jsou opatřeny provozním zpevněním. (ČSN 73 6108)

Technologické linky (4L) jsou zpravidla dočasné, minimální volná šíře jsou 2 metry a sklon vychází z terénní dostupnosti zamýšleného provozního prostředku. Technologické linky zasahují do jednotlivých porostů a slouží k dopravnímu zpřístupnění nitra porostu. (ČSN 73 6108)

Lesní cesty lze také kategorizovat na základě jejich významu a umístění v porostu. Rozdělujeme páteřní lesní cesty, ty jsou hlavní pro daný segment lesa, na ně navazují ostatní lesní cesty. V případě výškově členitého terénu se používají etážové cesty a hřebenové cesty, které vedou po vrstevnicích s minimálním podélným sklonem, respektive po hřebeni a mají za úkol rozčlenit prudký svah do několika úseků a usnadnit dopravu. Poslední kategorií je cesta spojovací, má obvykle velký podélný sklon a navzájem spojuje cesty předchozích kategorií. (TD LDS)



Obrázek 3-1 Struktura lesních cest v údolí. Zdroj: TD LDS

3.1.3. Lesní cestní síť v ČR

Jedním ze základních parametrů LCS je délka. (Hanák 2008) Ta dosahuje v ČR 39369 km, z toho jedna třetina připadá na cesty 1L zbytek na cesty 2L. (ÚHÚL 2021) Druhým parametrem, který daleko lépe vystihuje vyspělost LCS, je hustota lesních cest. (TD LDS)

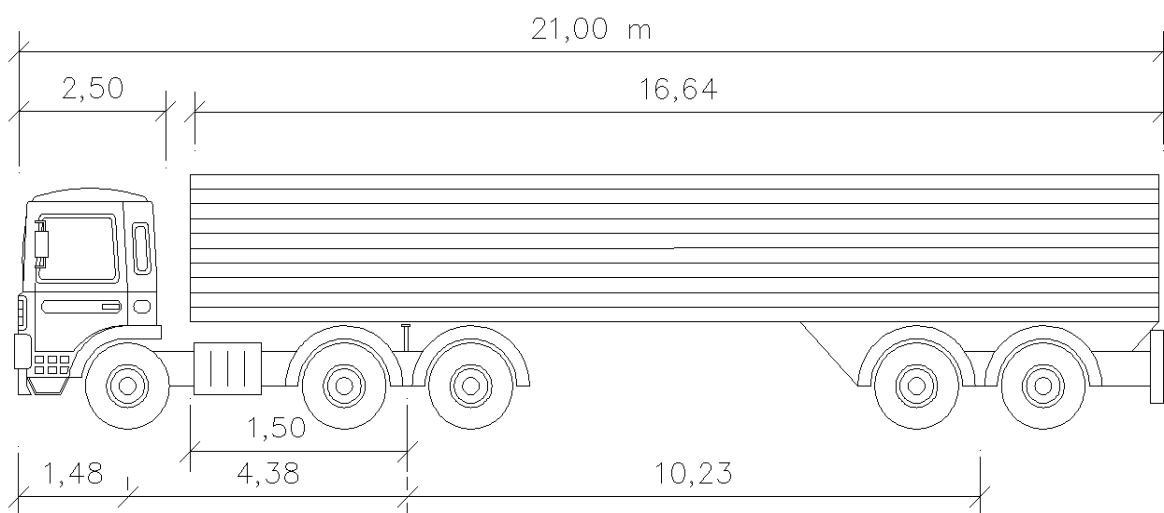
Hustota LCS se stanoví jako poměr délky všech cest a plochy zpřístupňované těmito cestami. Výsledkem je pak počet metrů lesních cest na hektar zpřístupňovaného území. Za celou ČR dosahuje hustota LCS 19,8 m/ha. (ÚHÚL 2021)

Dále lze vyspělost a především účinnost LCS vyjádřit pomocí přibližovací vzdálenosti. Jedná se o vzdálenost od lokality P (místo těžby stromu) k odvoznímu místu. Pro praktické využití lze stanovit průměrnou geometrickou přibližovací vzdálenost, která se zjistí jako průměrná vzdálenost jednotlivých pravidelně umístěných bodů od lesní cesty. (Hanák 2012)

3.2. Požadované technické parametry lesních cest

Trasa lesní cesty je navržena co nejefektivněji, s cílem zpřístupnit co možná největší plochu lesa, zároveň však nesmí nadbytečně narušovat uspořádání porostů, jejich stabilitu a musí být zaručeno dodržení směrových a výškových poměrů, umožňujících bezpečnou jízdu. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

Lesní cesta se navrhuje s ohledem na účel, kterému bude sloužit a dopravní zatížení, její životnost se obvykle předpokládá okolo 20 let, z tohoto důvodu se při dimenzování propustků vychází z průtoku Q_{20} . Parametry lesní cesty vycházejí z rozměrů tzv. směrodatného vozidla, viz obrázek 3-2. Od rozměrů tohoto vozidla se odvíjí šíře lesní cesty, sklon, nebo poloměry oblouků. (ČSN 73 6108)



Obrázek 3-2 Směrodatné vozidlo dle normy ČSN 73 6108

Připojení lesní cesty na silnici nebo místní komunikaci se provádí sjezdem, ten je opatřen vozovkou, je široký minimálně 6 metrů v místě napojení a dlouhý nejméně 25 metrů. Připojování na účelovou komunikaci se řeší obdobným způsobem, kdy je sjezd opatřen zpevněním shodným s navazující účelovou komunikací. Ostatní trasy nebo pozemky se na lesní cestu napojují sjezdem shodné šířky o délce minimálně 6 metrů a zpevněným vrstvou drceného kameniva. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

Lesní cesta je vždy opatřena účinným, technicky účelným odvodněním a výhybnami, pokud jde o cestu pro celoroční provoz nebo o cestu pro sezonní provoz s nedostatečně únosným a odvodněným podložím, musí být dále vybavena vozovkou. Na cestách se zřizuje zpravidla jedna až dvě výhybny na kilometr, v úsecích s dobrým rozhledem je možné počet snížit. Výhybna musí mít minimálně 25 metrů na délku a je konstrukčně shodná se zbytkem cesty, jako výhybnu lze využít i křižovatky lesních cest, sjezdy, lesní sklady a jiné přilehlé pozemky. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

Zřízením výhybny je umožněno vyhnuté dvou protijedoucích vozidel, jejich umístění se volí s ohledem na rozhledové poměry a minimalizaci zemních prací. (ČSN 73 6108)

Na konci lesní cesty, který je 100 a více metrů vzdálený od místa umožňujícího otočení jízdní soupravy se umísťuje obratiště, které je buď okružní, nebo úvratové. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

U cesty pro celoroční provoz se při křížení s malým vodním tokem nevyužívá brod. Podélný sklon lesní cesty je omezen podle návrhové rychlosti 20 / 30 km/h na 12 / 14%, příčný sklon je minimálně 3% u cest se stmeleným povrchem a 3,5% u ostatních lesních cest. Cesty s nestmeleným povrchem, přesahujících podélný sklon 6%, je nutné osadit svodnicemi vody. Záchytná zařízení je nutné umístit, pokud je koruna lesní cesty nad terénem ve výšce přesahující 2 metry, především na mosty, opěrné zdi a propustky. (Vyhláška 239/2017 Sb.)

3.3. Propustky

Propustky jsou významným objektem, jehož hlavní funkcí je bezeškodné převedení povrchových vod tělesem komunikace. Nejčastěji se navrhují na místech, kde není průtok trvalý. Navazují na ostatní objekty odvodnění lesních cest. Nejčastěji jsou zaústěny do koryta přilehlého vodního toku, terénní deprese, tůně nebo jiného retenčního, případně vsakovacího prostoru.

V případě, že se propustek navrhuje na trvalé vodoteči, jeho konstrukce navazuje na úpravu toku nad a pod propustkem nebo je součástí stavebního objektu také úprava přilehlých částí koryta vodoteče. (TD LDS)

3.3.1. Dělení propustků

Dělení propustků podle (TD LDS). Obdobné dělení je uvedeno v (TP 232)

1. podle typu hlavní nosné konstrukce na:
 - Trubní
 - Rámové
 - Deskové
 - Klenbové

2. Podle materiálu hlavní nosné konstrukce na:
 - Kamenné
 - Cihlové
 - Betonové
 - Ocelové
 - Dřevěné

3. podle prostorového umístění vzhledem k ose cesty na:
 - Kolmé
 - Šikmé



Obrázek 3-3 Typy konstrukce propustků. Zdroj: TD LDS

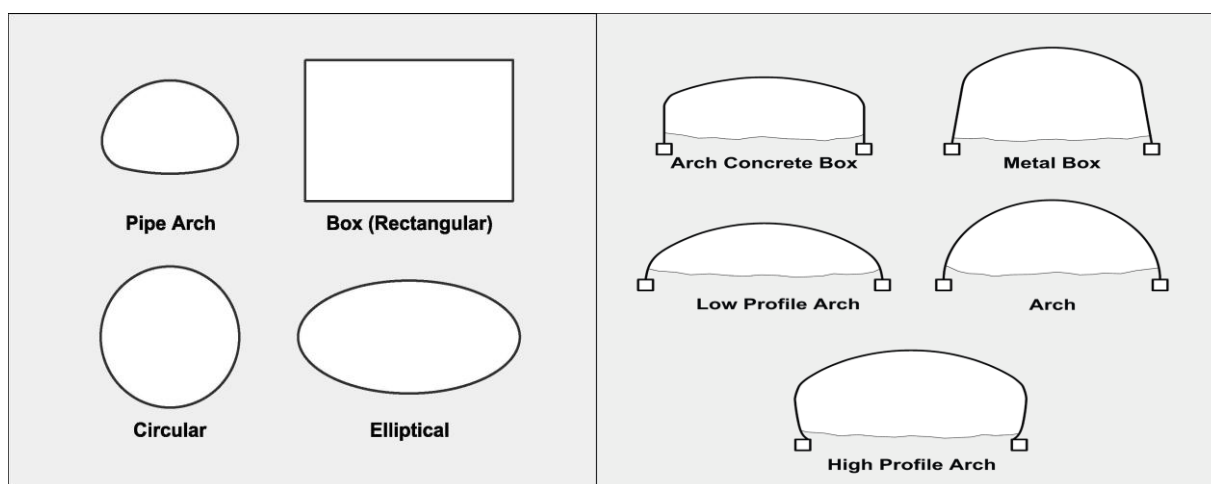
Dle TP 232 lze propustky dále dělit podle úpravy výtokové části propustků, podle délky a podélného sklonu propustků, podle hydraulického režimu viz kapitola 3.5.

Nejčastěji se na lesních cestách setkáme s ocelovými či betonovými trubními / ŽB propustky, nebo propustky rámovými. Hlavními prvky trubního propustku jsou potrubí, lože a čelo, které lze v případě potřeby nahradit vtokovou jámkou, jejíž se ukládá 200 mm pod vtok do potrubí, tím vzniká prostor pro usazení splavenin. (TD LDS)

Průtok, který mají být propustky schopné převést, se navrhuje na dvacetiletý průtok Q_{20} , tedy shodně s podélnými příkopy. (ČSN 75 1400)

3.3.2. Dělení propustků dle konstrukčního řešení v zahraniční literatuře

V zahraniční literatuře je dělení propustků členěno na dvě části, podle tvaru a podle hydraulického režimu propustku. Běžně se vyskytují zcela uzavřené konstrukce



nebo konstrukce s otevřeným dnem.

Obrázek 3-4 Běžně užívané tvary propustků. Zdroj: Hydraulic Design of Highway culverts. Fig. F1.5 a-b.

3.3.3. Dělení propustků dle hydraulického režimu v zahraniční literatuře

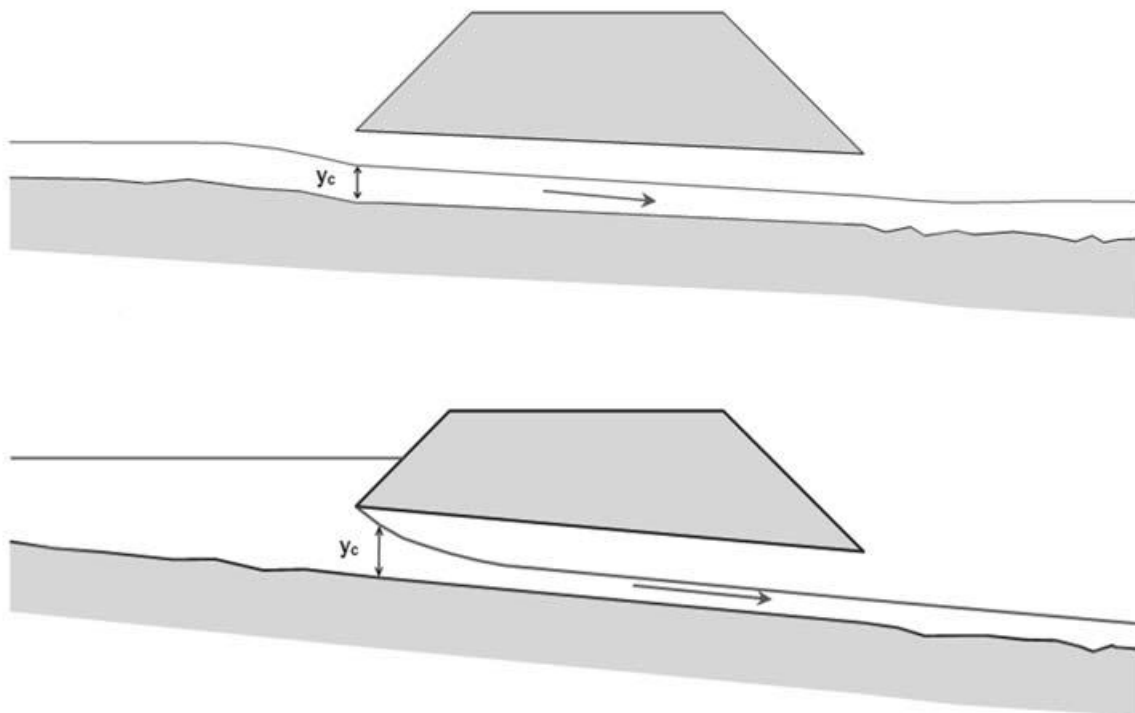
Dělení propustků podle hydraulického režimu je založeno na podobném principu, jednotlivé kategorie jsou však vylišovány odlišně. Základní dělení dle zahraniční literatury (Hydraulic Design of Highway culverts) zahrnuje dvě kategorie:

1. Inlet control

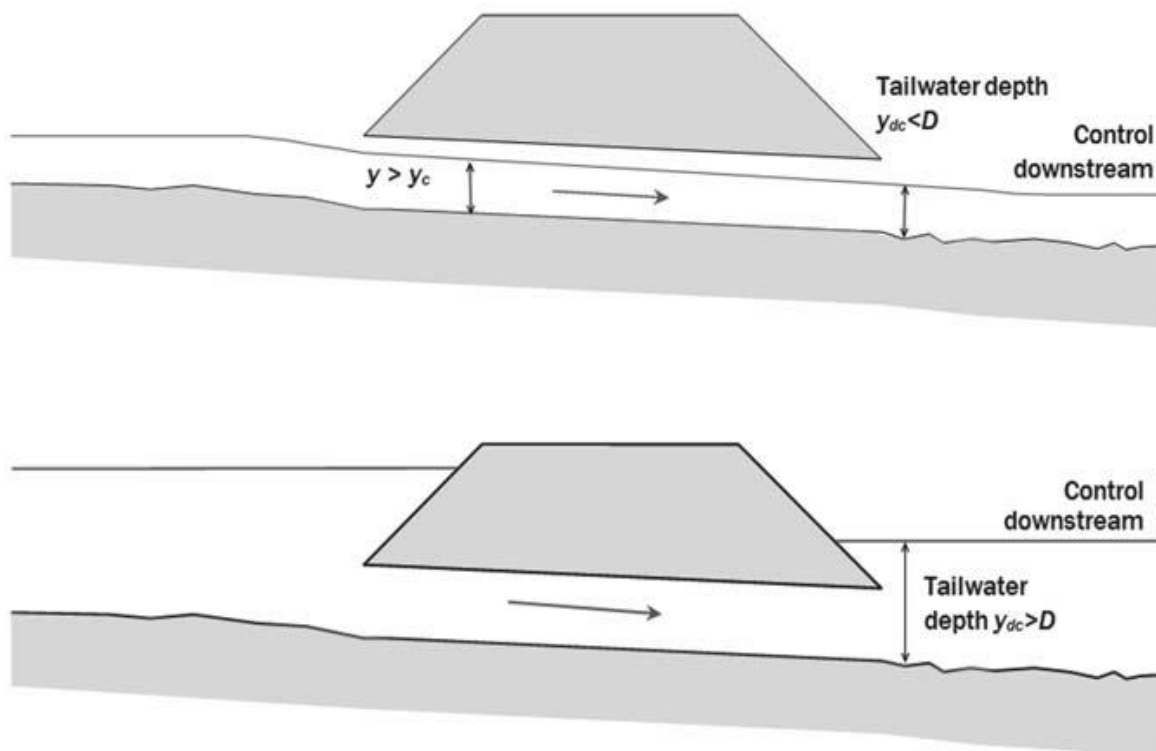
Jde o propustky s kontrolou vtokem. U těchto je v důsledku jejich konstrukčního řešení a hydraulických vlastností množství vody a proudění ovlivněno kapacitou vtoku, která je menší než kapacita propustku, hladina vody v propustku je shodná s kritickou hloubkou pro daný průtok. Tato situace se běžně vyskytuje u propustků s větším sklonem, dále závisí například na drsnosti materiálu propustku. Tento typ propustku se obecně nevyskytuje tak často. Podobně jako v (TP 232) lze tuto kategorii rozdělit na propustky se zatopeným, nebo volným vtokem viz (obrázek 3-5).

2. Outlet control

U propustků kontrolovaných výtokem je množství vody protékající propustkem ovlivněno průtočnou kapacitou samotného propustku, nebo výtokové části. Tato situace může nastat v důsledku konstrukčních a hydraulických vlastností propustku, kde hlavní roli hraje především podélný sklon propustku, průměr potrubí, drsnost materiálu propustku, řešení výtokové části, nebo ovlivnění výtoku spodní vodou. Do této kategorie spadají propustky s volnou hladinou, její výška je ale vyšší než kritická hloubka v důsledku ovlivnění propustkem či dolní vodou. Dále sem patří propustky s tlakovým prouděním a to pouze v části, nebo v celém propustku viz (obrázek 3-6).



Obrázek 3-5 Příklad propustku s kontrolou vtokem. Zdroj: Hydraulic Design of Highway culverts 2012. Fig 6.7



Obrázek 3-6 Příklad propustku s kontrolou výtokem. Zdroj: Hydraulic Design of Highway culverts 2012. Fig 6.8

3.4. Ostatní objekty na lesních cestách

Na lesních cestách se nachází mimo samotného tělesa lesní cesty mnoho dalších objektů, jejich funkce je různá a ne vždy je nutné je konstruovat. Některé slouží k usnadnění provozu na lesních cestách, jako například obratiště a výhybny. Další skupiny, kam patří propustky, opěrné zdi, svodnice vody a brody, mají za cíl zlepšit stabilitu a životnost lesní cesty a její ochranu před živelnými vlivy. Významné jsou také sjezdy, objekty, které slouží k napojení na ostatní infrastrukturu. Mohou sloužit k napojení lesní cesty na silnici, nebo naopak připojovat samostatné objekty, jako lesní sklady a jiné pozemky na lesní cestu.

3.4.1. Mosty

Obecně se návrh na zhotovení mostu se provádí tak, aby bezpečně přenášel všechna zatížení a jiné vlivy vyskytující se v průběhu jeho životnosti a to s maximální spolehlivostí a při zachování hospodárnosti. Je nutné, aby po dobu životnosti zůstal použitelný pro účel, na který byl navržen. (ČSN 73 6201)

Návrh mostu na lesních cestách se řídí normou (ČSN 73 6201), zároveň je však nutné přihlížet k terénním podmínkám dané lokality a k požadavkům na návrh samotné lesní cesty. Pokud není mostní objekt dimenzován na průtok N-leté vody, je nutné provést příslušná opatření, která zmírní škody způsobené tímto průtokem, jako například použití zpevněného povrchu cesty a účelné opevnění svahů. (TD LDS)

3.4.2. Brody

Brody jsou objekty, jejichž účelem je umožnit překonání malého vodního toku. Je vhodné umístit je tam, kde není účelné budovat most a zároveň je zde dno toku dostatečně stabilní. Návrh brodu se provádí primárně s ohledem na zajištění bezpečnosti projíždějících vozidel. Křížení lesní cesty s vodním tokem se navrhuje pokud možno kolmé, nebo pouze s minimální odchylkou. Šíře přejezdu je shodná s šíří lesní cesty, jeho délka je co nejkratší, jelikož rozdílné hydraulické vlastnosti dna brodu mohou ovlivnit proudění vody. Sklon rampy je maximálně v poměru 1:8, dno brodu je stabilizováno pomocí betonových patek a opatřeno účelným opevněním. Opevnění brodu poté navazuje na podélné opevnění koryta. (TD LDS)

Dimenzování brodů se provádí podle ČSN 75 2106-1 na $Q_N = Q_{20}$ podle (ČSN 75 1400). Součástí návrhu je posouzení splaveninového režimu vodního toku. (ČSN 73 6108)

3.4.3. Opěrné a zárubní zdi

Opěrné zdi jsou navrhovány pouze výjimečně, pokud je to nezbytné k zajištění stability lesní cesty. Mají negativní vliv na zpřístupnění okolních porostů a vodní režim lokality. V některých případech hrozí poškození konstrukce dřevinami v okolí. (TD LDS)

3.4.4. Výhybny

Výhybna umožňuje vyhnutí dvou protijedoucích vozidel, navrhuje se, pokud není k vyhnutí možno použít jiný vhodný prostor. Často jako výhybna slouží přilehlý lesní sklad nebo sjezd. Výhybny jsou zpravidla navrhovány na jednoproudových lesních cestách kategorie 1L a 2L. Nejlepší pozice pro umístění je v úseku dobrým rozhledem, kde se nenachází prudké směrové oblouky, nebo horizonty. Dalším kritériem pro umístění je minimalizace zemních prací. Pokud v požadovaném úseku není cesta rovná, pak je výhybna umístěna na vnější stranu oblouku. (TD LDS)

Výhybna musí být alespoň 6,5 m široká v plném rozšíření, které se navrhuje alespoň v délce 25 m, do které se nezapočítává délka náběhů, ta se navrhuje v poměru 1:3. (ČSN 73 6108)

3.4.5. Obratiště

Obratiště se navrhuje na místech se zvýšenou potřebou otáčení, kde nelze využít ostatní trasy, sjezdy, nebo přilehlé prostory. Dále pak na koncích lesních cest. Rozměry se volí

s ohledem na parametry směrodatného vozidla viz. kapitola (3.2.) nebo za pomoci vlečných křivek. Nejčastěji se budují obratiště okružní, nebo úvraťová ve tvaru „T“ nebo „Y“. (ČSN 73 6108)

3.4.6. Lesní sklady

Lesní sklady se budují na základě analýzy intenzity využívání, od toho se odvíjí i vybavení skladu a jeho zpevnění. Při intenzivním využívání je třeba přihlédnout k potřebě údržby povrchu a odklizení bahna a zbytků dřeva po manipulaci. Sklady se budují tak, aby trasa pro přibližování a vyvážení nevedla po lesní cestě. Zpevnění skladu se navrhuje podle lokálních podmínek a únosnosti terénu, pokud jsou podmínky vhodné, nemusí se povrch zpevňovat. Dále musí být u lesního skladu vyřešeno odvodnění. (TD LDS)

3.4.7. Sjezdy

Sjezdy slouží k napojování lesní cesty na silnice a místní komunikace, v tomto místě nevzniká křižovatka, sjezd je označen příslušným dopravním značením. Sjezd je široký 6,5m v délce alespoň 25m, vozovka se navrhuje obvykle stmelená a osa sjezdu je k ose silnice v úhlu 75-105°. (ČSN 73 6108)

Při navrhování sjezdu je klíčový rozhled dostatečný pro bezpečné najetí vozidla na silnici (místní komunikaci). Sjezd musí být navržen tak, aby se zamezilo vtékání srážkové vody z lesní cesty na silnici, toho je dosaženo vytvořením protispádu, kdy je nižší bod cesty posunut směrem od sjezdu. V případě že to není možné lze navrhnout otevřený žlab podélně s osou silnice. (TD LDS)

Sjezdy pro napojení lesních cest a ostatních tras pro lesní dopravu na jiné účelové komunikace se navrhují o šíři minimálně 6 m a délce 25 m, posuzují se rozhledové poměry. Samostatné (hospodářské) sjezdy, které mají minimální šířku a délku 6 m, se budují v místech připojení ostatních tras pro lesní dopravu na jiné účelové komunikace, nebo při napojování sousedních pozemků na lesní cestu. Zpevnění se navrhuje alespoň vrstvou drceného kameniva, neposuzují se rozhledové poměry. (ČSN 73 6108)

3.4.8. Bezpečnostní prvky a ostatní objekty

Bezpečnostní zařízení se na lesních cestách navrhují jen v případě potřeby. Nesmí zasahovat do volné šíře lesní cesty. Svodidla a zábradlí se zpravidla navrhují pouze do míst, kde je koruna přilehlé lesní cesty 2 m nad terénem. Směrové sloupky se navrhují v odůvodněných případech, primárně je na jejich výrobu použito dřevo. (ČSN 73 6108)

3.5. Vliv konstrukčního řešení na hydraulické vlastnosti

3.5.1. Úprava vtoku propustku

Klíčovým parametrem při hydraulickém posuzování propustku je jeho konstrukce. Pro zvýšení účinnosti propustku je nožné provést úpravu vtoku propustku. Nejčastěji se lze setkat se zahloubením vtoku, nebo rozšířením či skosením vtokové části. Při zahloubení vtoku je dosaženo většího spádu při stejné hladině horní vody, při rozšíření vtokové části propustku dojde k efektivnějšímu převedení průtoku z volného koryta do průtočného profilu propustku. Dle konkrétních potřeb lze tyto úpravy kombinovat, možností je také zkosení vtokové části propustku.

Konstrukční úprava vtoku má významný vliv na proudění vody, který je vyjádřen různými hodnotami součinitelů pro základní typy úprav vtoku viz (obrázek 3-7) v tabulce 3-1.

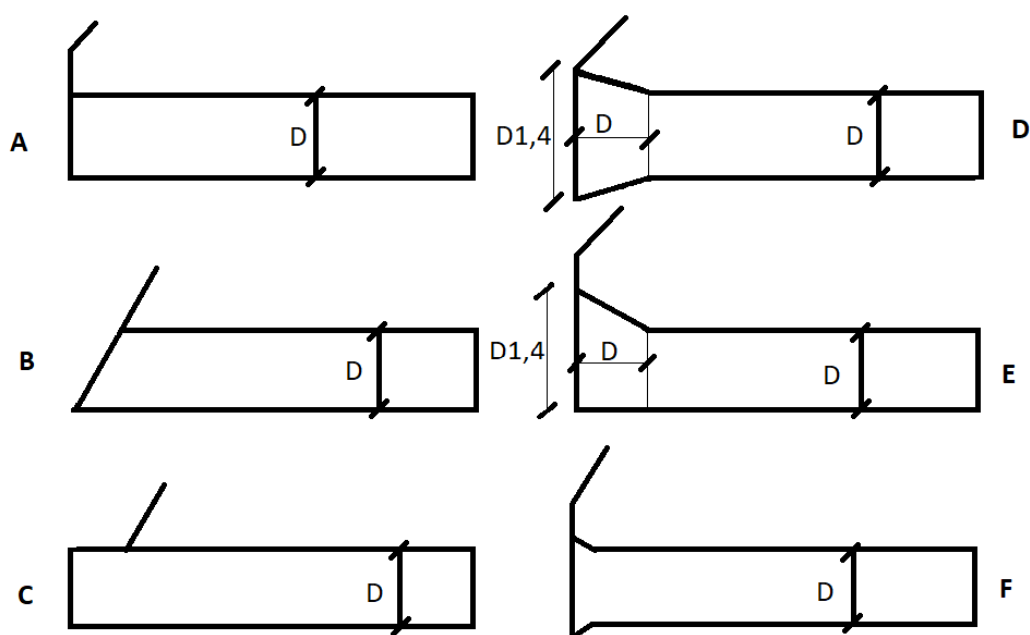
1. Součinitel ztrát vtokem vyjadřuje ztráty při převodu průtoku z volného koryta do konstrukce propustku.
2. Součinitel výškového zúžení ovlivňuje výšku vody za vtokem do propustku.
3. Součinitel zatopení pomáhá určit, při jaké výšce hladiny h_0 (před vtokem) dojde k zatopení vtoku, tuto výšku zjistíme vynásobením průměru, respektive výšky propustku tímto součinitelem.

Pokud se provádí rozšíření vtokové části na propustku s kruhovým profilem, je nutné využít tzv. přechod viz. (obrázek 3-8). Negativním dopadem při provádění těchto úprav a zvyšování rychlosti vtékání vody do propustku může být zvýšení eroze. V praxi často konstrukční složitost úprav převažuje nad výhodami daného řešení. (TP 232)

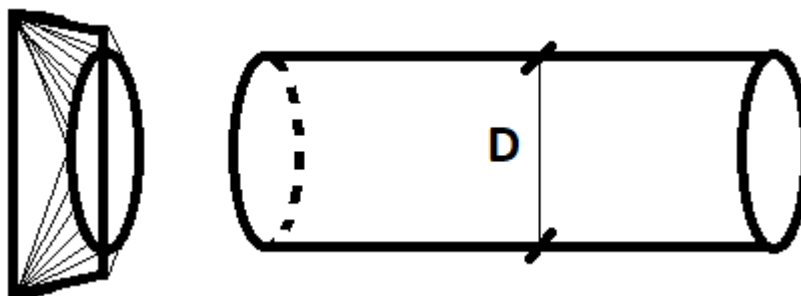
Účinnost propustku, především ve formě redukce ztrát na vtoku lze dosáhnout také zaoblením okrajů trouby. To se projeví ve změně výšky vzduté hladiny před propustkem. (Hydraulic Design of Highway culverts 2012)

Typ úpravy vtoku	Součinitel ztrát vtokem ξ	Rychlostní součinitel φ	Součinitel výškového zúžení k	Součinitel zatopení vtoku β
A	0,40-0,50	0,85-0,82	0,90	1,20-1,16
B	0,70-0,80	0,77-0,75	0,87	1,10-1,09
C	0,80-0,90	0,75-0,73	0,86	1,09-1,08
D	0,30-0,40	0,88-0,85	0,94	1,40-1,36
E	0,10-0,15	0,95-0,93	0,95	1,40-1,33
F	0,05-0,10	0,98-0,95	0,97	1,45-1,40

Tabulka 3-1 Hodnoty součinitelů pro základní typy úprav vtoku. Zdroj: TP 232



Obrázek 3-7 Základní typy úprav vtoku.



Obrázek 3-8 Přechod obdélníkového vtoku do kulatého propustku.

3.5.2. Sklon dna propustku

Vliv sklonu dna propustku je důležitým aspektem při stanovení hydraulických vlastností. Jeho hodnota ovlivňuje průtočnou kapacitu propustku, režim proudění, rychlost a průběh hladiny. (TP 232)

Sklon dna propustku je jedním z hlavních parametrů, který má dle zahraniční literatury (Hydraulic Design of Highway culverts 2012) vliv na dělení propustků. U propustků s velmi výrazným sklonem je zpravidla omezující částí vtokový otvor, který není chopen převést takový průtok, jako zbytek propustku. Naopak u propustků s mírným sklonem dochází k pravému opaku, kdy vtokový otvor je schopen pojmout větší průtok než zbytek propustku.

3.5.3. Materiál propustku

Materiál propustku má rovněž vliv na hydraulické řešení propustku. Především je důležitá charakteristika povrchu, který je ve styku s protékající vodou. To, jak povrch propustku ovlivní protékající vodu, lze vyjádřit pomocí Manningova součinitele drsnosti (n). Vliv na hydraulické vlastnosti propustku mohou mít spoje dvou segmentů, zakřivení, nebo změna sklonu propustku. Nejčastěji jsou pro propustky používány betonové, ocelové, nebo plastové trubky, nebo betonové trubní segmenty. Běžné jsou i deskové propustky a klenbové propustky s přirozeným dnem. (TP 232)

Druh materiálu	n		
	min.	stř.	max.
Ocelová potrubí svařovaná	0,010	0,012	0,014
Litínová potrubí	0,010	0,014	0,016
Plastické hmoty	0,008	0,009	0,010
Hlazená cementová malta	0,011	0,013	0,015
Beton	0,012	0,013	0,014
Kamenina – odpadní potrubí, drenážní trubky	0,011	0,013	0,017

Tabulka 3-2 Hodnoty Manningova součinitele drsnosti pro různé materiály propustku.

Zdroj: (TP 232)



Obrázek 3-9 Příklad betonové trouby.

Zdroj:<https://www.prefa.cz/wpcontent/gallery/Trouby-kruhove/trouby-kruhove-02.jpg>



Obrázek 3-10 Příklad ocelové trouby.

Zdroj:<http://cz.lksteelpipe.com/Content/upload/20199971/201909022304082452862.jpg>

3.5.4. Úprava výtokové části

Konstrukční řešení výtokové části má vliv na hydraulický režim propustku, při náhlém rozšíření vznikají ztráty, které je nutné zohlednit při hydraulickém posuzování propustku. Rovněž výška, respektive průměr výtokového otvoru a jeho pozice vůči korytu a hladině za propustkem má významný vliv na hydraulický režim, především na to, zda a jakým způsobem bude dolní voda ovlivňovat proudění a kapacitu propustku.

Často se však také výtoková část propustku upravuje na základě hydraulického režimu. Pokud v propustku dojde ke vzniku bystřinného proudění, hrozí, že vytékající voda by svou vysokou kinetickou energií poškodila nezpevněné koryto nebo by vzniklá eroze měla jiný nepříznivý efekt na okolní prostředí. Tomu se dá zabránit vybudováním konstrukce, na které dochází k výrazným hydraulickým ztrátám, zpravidla se používá vývar. Zde dojde k vodnímu skoku, zpomalí se rychlost proudění a dojde k přechodu zpět na říční proudění, při kterém nedochází k tak výrazné erozi koryta. (TP 232)

3.5.5. Konstrukce pro zachycení spláví

V odůvodněných případech je vhodné vybavit propustek konstrukcí na ochranu proti ucpání splávim. Tato konstrukce slouží zároveň jako ochrana před ucpáním propustku ledem, tyto konstrukce je nutné pravidelně udržovat a čistit. (TP 232)

Splávi může způsobit ucpání nebo poškození konstrukce propustku, proto je nutné zbudovat účelnou ochranu. Při ucpání propustku hrozí přeliv vody přes korunu lesní cesty a její následná eroze. (TP 204)

Riziko ohrožení propustku splávim závisí na charakteristikách toku a inundačního území. Používá se několik způsobů ochrany:

- Zachycení spláví před propustkem
- Odklon spláví od vtoku
- Konstrukce pro usměrnění spláví a usnadnění průchodu propustkem

3.6. Dělení propustků dle hydraulických vlastností

Jedním z klíčových aspektů při hydraulickém řešení propustku je režim proudění vody. Dle technických doporučení pro projektování lesní cestní sítě 2020 se z hlediska proudění rozlišují tyto kategorie:

- propustky s prouděním s volnou hladinou (volným vtokem)
- propustky se zahlceným vtokem
- propustky s tlakovým prouděním

Určit, zda se jedná propustek s volnou hladinou lze určit porovnáním kapacitního průtoku pro netlakové proudění a návrhového průtoku. Volná hladina se v propustku vyskytuje za předpokladu platnosti vztahu (3.1) Kapacitní průtok se stanoví pomocí rovnice (3.2) vzniklé kombinací Manningovy rovnice (3.3) a průtočné plochy propustku. (TP 232)

$$Q < Q_D \quad (3.1)$$

kde: Q = návrhový průtok; Q_D = kapacitní průtok při netlakovém proudění;

$$Q_D = v \times S \quad (3.2)$$

kde: S = průtočná plocha propustku; v = rychlost proudění ve volném korytě

$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I_0^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

kde: n = součinitel drsnosti (tab. 3-2); R = hydraulický poloměr, rovnice (3.4);

I_0 = sklon dna.

$$R = \frac{S}{O} \quad (3.4)$$

kde: S = průtočná plocha; O = omočený obvod;

Dále je pro rozdělení nutné stanovit, jestli jde o propustek s volným nebo zahlceným vtokem. To se určuje na základě horní hladiny h_0 , průměru D / výšky a propustku, a součinitele zatopení vtoku ; (tab. 3-1). Pokud platí vztah (3.5), jde o propustek se vtokem zahlceným vodou.

$$h_0 > \beta \times D \quad (3.5)$$

kde: h_0 = hladina před vtokem; β = součinitel zatopení vtoku (tab. 3-1) D = výška respektive průměr propustku.

Podrobnější dělení zahrnuje vliv stagnující vody na spodní (výtokové) straně propustku. Každou z předchozích kategorií rozdělí podle toho, zda je ovlivněna spodní vodou.

Tyto kategorie se poté individuálně posuzují, například se bere v úvahu přeliv vody přes korunu lesní cesty. U propustků s tlakovým prouděním navíc rozlišujeme, zda jde o tlakové proudění pouze v části propustku nebo v celé jeho délce, toto je často spjato se zatopením výtokového otvoru. Ovšem může dojít i k situaci, kdy je zatopen vtok i výtok, přesto není v celém propustku tlakové proudění a v části propustku se objeví volná hladina. Pokud k tomu dojde, je nutné brát v potaz, že tento režim je nestálý a dochází k pulsování vody, což může negativně ovlivnit konstrukci propustku a stabilitu cesty. (TP 232)

Důležitým předpokladem při řešení propustku jsou výrazně variabilní hydraulické parametry propustku, především v čase se režim proudění výrazně mění. Propustky jsou často na menších tocích, kde odezva průtoku na srážky reaguje velmi výrazně a v krátkém časovém horizontu. Některé propustky jsou zase většinu času bez vody a různě velké průtoky se vyskytují v nárazech v důsledku změn počasí a ročních období. (TD LDS)

3.7. Propustky s volnou hladinou

V propustku s volnou hladinou se můžeme setkat se třemi typy proudění, říčním, kritickým a bystřinným. K určení konkrétního typu se používá Froudeho číslo. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která vyjadřuje poměr mezi setrvačnou a gravitační silou, které zároveň působí na proudící kapalinu. Froudeho číslo se určí pomocí rovnice (3.6). Froudeho číslo < 1 znamená proudění říční, s vyšší hladinou a menší rychlostí. Froudeho číslo > 1 znamená proudění bystřinné, s nízkou hladinou a vysokými rychlostmi. Pokud je Froudeho číslo rovno 1, jde o proudění kritické, na přelomu mezi říčním a bystřinným. (TP 232)

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \times h}} \quad (3.6)$$

kde: v = rychlost proudění; g = gravitační zrychlení; h = hloubka vody;

První úkonem při hydraulické řešení propustku s volnou hladinou a volným vtokem je potvrzení platnosti vztahu (3.1) a (3.5).

Dalším krokem je posouzení, zda hladina vody na výtoku z propustku ovlivňuje proudění propustkem či nikoliv, k ovlivnění dochází při platnosti vztahu (3.7) pro kruhové, nebo (3.8) pro

$$h_1 > 1,25 \times h_k \quad (3.7)$$

kde: h_1 = hloubka vody za vtokem; h_k = kritická hloubka pro daný průtok;

$$h_1 > 1,1 \times h_k \quad (3.8)$$

Pro stanovení charakteristik proudění vody skrze propustek se využívá Bernoulliho rovnice, která je upravena pro dva průtočné profily, z nichž první leží v místě horní (vzduté) hladiny h_0 před propustkem, druhý pak v místě největšího zúžení hladiny h_c . Energetickou výšku pro průtočný profil před resp. za propustkem určíme z rovnic (3.9.) a (3.10). (TP 232)

$$E = h_h + \frac{\alpha \times v_h^2}{2 \times g} \quad (3.9)$$

$$E = h_1 + \frac{\alpha \times v_2^2}{2 \times g} + \xi \times \frac{v_2^2}{2 \times g} = h_2 + \frac{\alpha \times Q^2}{2 \times g \times \varphi^2 \times S_2^2} \quad (3.10)$$

kde: E = energetická výška před propustkem; $h_1 = h_c$ resp. h_δ ; h_c = hloubka za vtokem pro dolní vodou neovlivněné propustky; h_δ = hloubka za vtokem pro dolní vodou ovlivněné propustky; α = Coriolisovo číslo.

Kritickou hloubku lze stanovit buď za pomoci obecné rovnice kritického proudění (3.11) nebo pomocí empirických rovnic zvláště pro kruhové (3.12) respektive obdélníkové (3.13) propustky. (TP 232)

$$\frac{\alpha \times Q^2}{g} = \frac{S_k^3}{B_k} \quad (3.11)$$

kde: S_k = průtočná plocha při kritické hloubce; B_k = šířka hladiny při kritické hloubce;

$$h_k = \frac{\sqrt{0,32 \times Q}}{\sqrt[4]{D}} \quad (3.12)$$

kde: D = průměr propustku;

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \times Q^2}{g \times b^2}} \quad (3.13)$$

kde: b = šířka propustku;

Pokud dochází k ovlivnění průtoku hladinou vody za výtokem, dopočítá se hladina za vtokem h_δ z hodnoty hladiny na konci propustku h_{kp} . Hladina vody na výtoku se řídí vztahem (3.14), resp. (3.15). Jednou z možností stanovení hodnoty hladiny vody za výtokem h_d je pozorování. (TP 232)

$$h_d < h_k \rightarrow h_{kp} = h_k \quad (3.14)$$

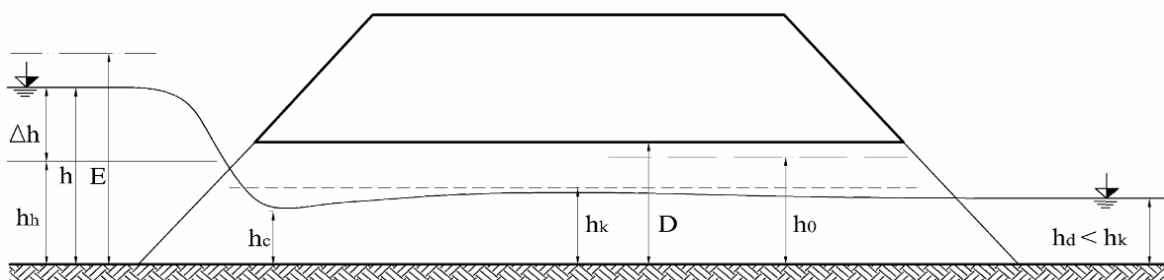
$$h_d > h_k \rightarrow h_{kp} = h_d \quad (3.15)$$

3.7.1. Propustky s volnou hladinou neovlivněné dolní vodou

Hodnotu hloubky vody za vtokem u propustku neovlivněného dolní vodou h_c lze stanovit rovnicí (3.11.) (TP 232)

$$h_c = k \times h_k \quad (3.16)$$

Kritická hloubka se stanoví iteračním způsobem dle vzorce (3.11), nebo se použijí empirické rovnice pro kruhové (3.12) respektive obdélníkové (3.13) propustky.



Obrázek 3-11 Schéma propustku o volné hladině neovlivněného spodní vodou.

Zdroj: TP 232

Kapacitní průtok Q_d tohoto typu propustku se vypočítá ze vzorce (3.2), pro který je nejprve potřeba znát rychlost proudění, ta se spočítá za pomoci Manningovy rovnice (3.3).

V případě použití betonového kruhového propustku, který má hodnotu Manningova součinitele drsnosti 0,013, lze výpočet zjednodušit do vztahu (3.17).

$$Q_d = 24 \times D^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{I_0} \quad (3.17)$$

Při navrhování propustku potřebujeme nejprve stanovit minimální rozměry propustku, vyjádříme ze vztahu (3.2) průtočnou plochu, úpravou dostaneme vzorec (3.18). Dosazením Manningovy rovnice (3.3) za rychlost proudění dostaneme upravenou rovnici (3.19). Pro kruhové propustky z betonu lze využít zjednodušený vztah (3.20). (TP 232)

$$S = \frac{Q}{v} \quad (3.18)$$

$$S = \frac{Q}{\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I_0}} \quad (3.19)$$

$$D = \left[\frac{Q}{24 \times \sqrt{I_0}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (3.20)$$

Pokud známe minimální rozměry propustku, zvolíme neblížejší vyšší vyráběnou variantu. Pro tyto rozměry propustku se vypočte kritická hloubka h_k , zúžená hloubka h_c , zúžená průtočná plocha S_c , a rychlost v místě zúžení v_c . Na tyto hodnoty a tedy i na velikost vzduť mají vliv především parametry vtoku, spolu s ostatními vlastnostmi propustku. (TP 232)

Dalším krokem při řešení propustku je výpočet vzduť způsobeného propustkem, při výpočtu hraje roli průtok Q , podélný sklon I_0 , nevzdutá hloubka vody před vtokem h_h , hloubka vody za propustkem.

Pro zjištění energetické výšky profilu před vtokem lze využít Bernoulliho rovnici (3.21), nebo ji lze vyjádřit vztahem (3.22) pomocí hloubky vody před propustkem.

$$E = h_c + \frac{v_c^2}{2 \times g \times \varphi^2} = h_c + \frac{Q^2}{2 \times g \times \varphi^2 \times S_c^2} \quad (3.21)$$

kde: E = energetická výška profilu před propustkem; h_c zúžená hloubka za vtokem;
 φ = rychlostní součinitel dle tabulky 3-1; S_c = zúžená průtočná plocha za vtokem;
 v_c = rychlost v místě zúžení;

$$E = h_0 + \frac{\alpha \times v_h^2}{2 \times g} \quad (3.22)$$

Hloubku lze pro zjednodušení považovat $h_0 = E$ a vzduť propustkem lze stanovit odečtením hladiny horní vody h_h od vzduť hladiny před propustkem h_0 . (TP 232)

Pro zajištění proudění o volné hladině je nutná platnost nerovnice (3.1) a zároveň musí být sklon propustku I_0 větší nebo roven sklonu minimálnímu $I_0 \text{ min}$, který se spočítá podle rovnice (3.23). (TP 232)

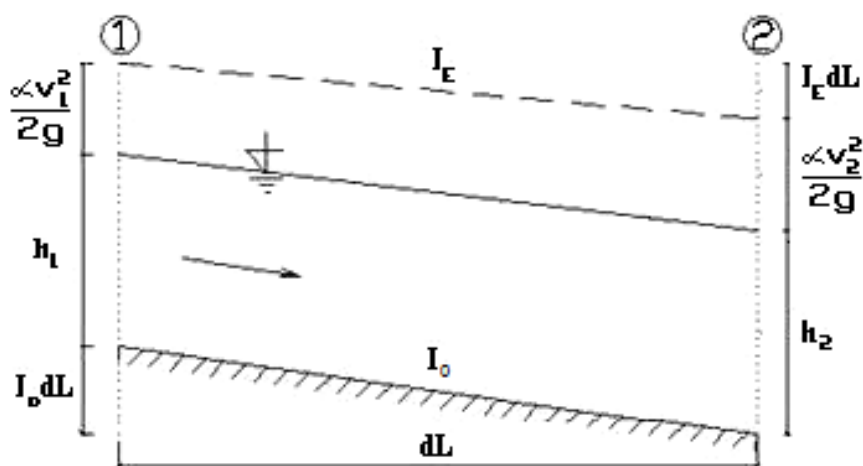
$$I_0 \text{ min} = \frac{Q^2}{S_D^2 \times C_D^2 \times R_D} = \frac{Q^2}{576 \times D^{\frac{16}{3}}} \quad (3.23)$$

3.7.2. Propustky s volnou hladinou ovlivněné dolní vodou

Propustek považujeme za ovlivněný dolní vodou, pokud hladina dolní vody h_d ovlivňuje zúžený profil za vtokem, tedy mění zúženou hloubku za vtokem h_c . Pokud ano, vytvoří se za vtokem hloubka h_s , kterou musíme dopočítat z hloubky na výtoku z propustku h_v . Výpočet se provádí metodou po úsecích, kdy se v propustku uvažuje nerovnoměrné ustálené proudění. Pro tento účel se využije Bernoulliho upravená pro dva sousedící profily (3.24). K ovlivnění vodou dochází zpravidla u propustků s malým sklonem I_0 , nebo s vysokou hladinou dolní vody. (TP 232)

$$\frac{\alpha \times v_1^2}{2 \times g} + h_1 + I_0 \times dL = \frac{\alpha \times v_2^2}{2 \times g} + h_2 + I_E \times dL \quad (3.24)$$

kde: h_n = hloubka v daném profilu; v_n = rychlost v daném profilu; I_0 = sklon dna propustku; I_E = sklon čáry energie; dL = vzdálenost sousedících profilů;

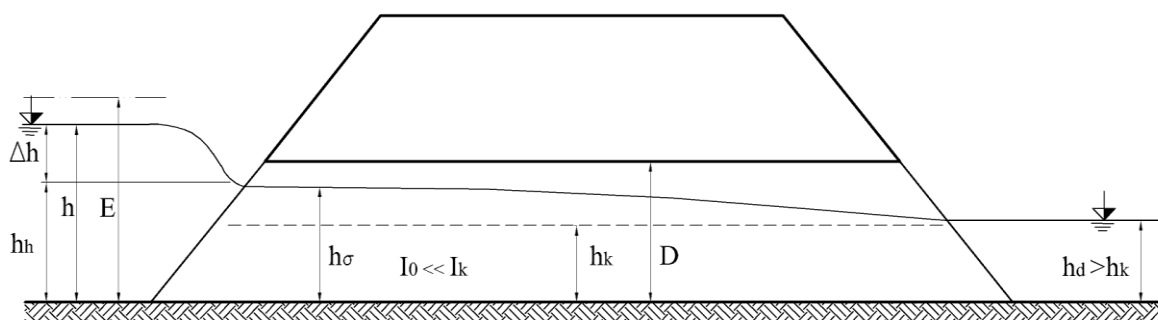


Obrázek 3-12 Schéma nerovnoměrného ustáleného proudění propustkem. Zdroj: TP 232

Sklon čáry energie se vypočítá z rovnice (3.25).

$$I_E = \frac{Q^2}{C_P^2 \times S_P^2 \times R_P} \quad (3.25)$$

kde: C_P = průměrná hodnota Chézyho rychlostního součinitele; S_P = průměrná průtočná plocha; R_P = průměrný hydraulický poloměr;



Obrázek 3-13 Schéma propustku s volnou hladinou ovlivněného dolní vodou.

Zdroj: TP 232

U výpočtu nerovnoměrného ustáleného proudění v propustku je nutné počítat s místními ztrátami, které vznikají na vtoku, při výtoku, nebo při ohybu propustku. Tyto ztráty vyjadřuje součinitel místní ztráty ξ (tabulka 3-1). S přihlédnutím k těmto ztrátám se rozdíl hladin ve dvou sousedních profilech propustku stanoví podle rovnice (3.26). (TP 232)

$$\Delta z = \frac{\alpha \times Q^2}{2 \times g} \times \left(\frac{1}{s_2^2} - \frac{1}{s_1^2} \right) + \frac{Q^2}{k_p^2} \times dL + \xi \times \left[\frac{\alpha}{2 \times g} \times \left(\frac{Q^2}{s_2^2} - \frac{Q^2}{s_1^2} \right) \right] \quad (3.26)$$

kde: Δz = rozdíl hladin v sousedních profilech; ξ = součinitel místní ztráty;

Výpočet se liší od propustku neovlivněného dolní vodou, pokud dojde i k ovlivnění vtoku, k tomu dochází, pokud je splněna nerovnost (3.27) pro kruhové respektive (3.28) pro obdélníkové propustky.

$$h_\delta \geq 1.25 \times h_k \quad (3.27)$$

$$h_\delta \geq 1.1 \times h_k \quad (3.28)$$

K výpočtu energetické výšky a vzduť vody před propustkem se pak použije Bernoulliho rovnice ve tvaru (3.29).

$$E = h_\delta + \frac{v_\delta^2}{2 \times g \times \varphi^2} = h_\delta + \frac{Q^2}{2 \times g \times \varphi^2 \times S_\delta^2} \quad (3.29)$$

Pro průtok platí vztah (3.30), zbytek výpočtu je shodný jako v předchozím případě. (TP 232)

$$Q = \varphi \times S_\delta \times \sqrt{2 \times g \times (E - h_\delta)} \quad (3.30)$$

3.8. Propustky se zahlčeným vtokem

Za propustek se zahlčeným vtokem považujeme takový propustek, u kterého platí podmínka (3.5). Zahlčení vtoku má za následek nejvýraznější kontrakci proudu na vtoku, tím pádem také dochází k největšímu vzduť hladiny před vtokem. Podobně jako u propustků s volným vtokem rozlišujeme tuto kategorii na dvě podkategorie podle toho, zda dochází k ovlivnění dolní vodou. (TP 232)

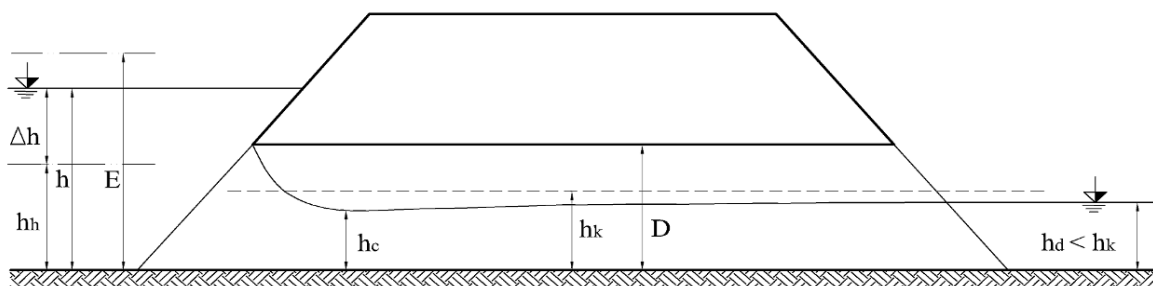
Zjištění ovlivnění propustku dolní vodou provádíme shodně jako u propustků s volným vtokem podle vztahu (3.7) pro kruhové respektive (3.8) pro obdélníkové propustky. Pro hydraulické řešení tohoto typu propustku použijeme Bernoulliho rovnici (3.21).

V případě zatopeného vtoku musíme brát v potaz větší kontrakci proudu za vtokem, hladinu v tomto místě stanovíme dle vztahu (3.31) pro kruhové propustky respektive (3.32) pro obdélníkové propustky. (TP 232)

$$h_c = 0.6 \times D \quad (3.31)$$

$$h_c = 0.62 \times a \quad (3.32)$$

3.8.1. Propustky se zatopeným vtokem neovlivněné dolní vodou



Obrázek 3-14 Schéma propustku se zahlčeným vtokem neovlivněným dolní vodou.

Zdroj: TP 232

Průtok propustkem se stanoví dle vztahu (3.33), rychlost proudění v_c se spočítá z rovnice (3.34). (TP 232)

$$Q = S_c \times v_c \quad (3.33)$$

$$v_c = \varphi \times \sqrt{2 \times g \times (E - h_c)} \quad (3.34)$$

Dále je nutné odhadnout poměr p (3.35) mezi výškou propustku a energetickou výškou E , standardně se volí $1,4 < p < 2$, pro zjednodušení se předpokládá $E = h$. (TP 232)

$$p = \frac{E}{D} = \frac{h}{D} \quad (3.35)$$

S pomocí vztahu (3.33) a poměru p spočteme minimální průměr propustku dle rovnice (3.36). (TP 232)

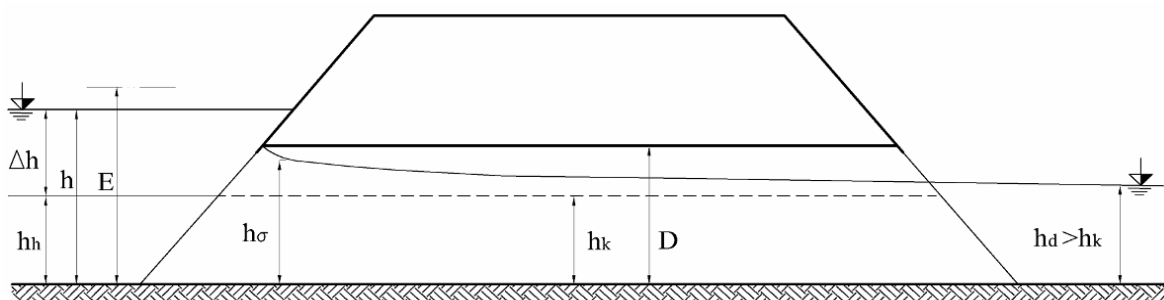
$$D_{min} = 0,785 \times \left[\frac{Q^2}{p-0,6} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (3.36)$$

Na základě minimálního průměru zvolíme nejbližší vyšší vyráběný průměr propustku. Podle Bernoulliho rovnice ve tvaru (3.21) stanovíme energetickou výšku E před propustkem. Hloubka se pro zjednodušení považuje $h = E$ a vzdutí propustkem lze stanovit odečtením hladiny horní vody h_h od vzduté hladiny před propustkem h_0 . (TP 232)

Poslední fází je ověření skutečné hodnoty poměru p a hodnoty odhadnuté, pokud nejsou dostatečně shodné, je nutné výpočet upravit. Poté se provede kontrola platnosti vztahu (3.5), tedy je li vtok zatopen vodou. Pokud jsou všechny podmínky splněny, provedeme podrobný výpočet průběhu hladiny v propustku. (TP 232)

3.8.2. Propustky se zatopeným vtokem ovlivněné dolní vodou

Postup je shodný s propustky s volným vtokem, musíme brát v úvahu ovlivnění zúženého profilu h_c hladinou dolní vody h_d , k ovlivnění dochází, platí-li vztah (3.27) pro kruhové propustky, respektive (3.28) pro propustky obdélníkové.



Obrázek 3-15 Schéma propustku se zahlceným vtokem ovlivněného dolní vodou.

Zdroj: TP 232

Úprava výpočtu je shodná s propustky s volným vtokem, zúžená hloubka h_c je nahrazena hloubkou h_δ , která se stanoví metodou po úsecích na základě znalosti hloubky vody na výtoku h_v viz kapitola 3.7.1. (TP 232)

Pro výpočet průtoku platí vztah (3.37), v_δ , se stanoví dle rovnice (3.38).

$$Q = v_\delta \times S_\delta \quad (3.37)$$

$$v_\delta = \varphi \times \sqrt{2 \times g \times (E - h_\delta)} \quad (3.38)$$

3.9. Propustky s tlakovým prouděním

Tlakové proudění propustkem se projevuje tím, že průtok propustkem Q je větší než kapacitní průtok při volné hladině Q_d , výpočet kapacitního průtoku pro netlakové proudění viz. kapitola (3.7.1). Příčinou je zpravidla zpětný tlak způsobený vysokou hladinou dolní vody h_d , vysokou hladinou vody před propustkem h_h , případnou roli hraje také sklon propustku l_0 a použitý materiál. (TP 232)

U propustků s tlakovým prouděním rozlišujeme několik kategorií, nejčastěji se setkáme s tlakovým prouděním pouze na části propustku, a na zbytku je volná hladina. Výjimečně se lze setkat s tlakovým prouděním v celé délce propustku. Dále rozlišujeme podobně jako v předchozích případech vliv spodní vody, jelikož jde o jednu z hlavních příčin tlakového proudění, lze se s vlivem spodní vody setkat poměrně často. Paradoxně je však běžné, že i při výskytu vysoké hladiny na obou stranách propustku nedochází k tlakovému proudění na celé délce, a na části propustku se vyskytuje volná hladina. Pokud dojde k tomuto režimu proudění, je nutné při dimenzování počítat s jeho nestálostí. Z tohoto důvodu se objekty, ve kterých toto hrozí, počítají zároveň jako propustky s tlakovým prouděním i jako propustky se zahlceným vtokem, a z těchto dvou se vybere ta méně příznivá varianta. (TP 232)

Pro ověření zahlcení vtokem použijeme vztah (3.5), pro ověření zahlcení výtoku použijeme Bernoulliho rovnici upravenou pro profil v místě výtoku (3.39). Podobně jako u vtoku neplatí, že pokud je hladina dolní vody h_d rovna nebo větší než výška, nebo průměr propustku D , automaticky se jedná o zatopený výtok.

$$\Delta \geq \frac{v_d \times (v - v_d)}{g} \quad (3.39)$$

kde: Δ = převýšení hladiny dolní vody nad horní hranou propustku (3.40); v = rychlost v propustku při tlakovém proudění; v_d = střední profilová rychlost v korytě za propustkem;

$$\Delta = h_d - D \quad (3.40)$$

3.9.1. Propustky s tlakovým prouděním s nezatopeným výtokem

Pro řešení propustků s tlakovým prouděním po celé délce se využije Bernoulliho rovnice upravená do tvaru (3.41). (TP 232)

$$h_h + \frac{\alpha \times v_h^2}{2 \times g} + I_0 \times L = h_d + \frac{\alpha \times v_d^2}{2 \times g} + Z_m + Z_r \quad (3.41)$$

kde: Z_m = součet místních ztrát (3.42); Z_t = ztráta třením v propustku (3.44);

$$Z_m = Z_v + Z_r \quad (3.42)$$

kde: Z_v = ztráta vtokem (3.43); Z_r = ztráta náhlým rozšířením za výtokem;

$$Z_v = \xi \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (3.43)$$

Ztráty třením vyjádříme pomocí čáry energie a délky propustku (3.44).

$$Z_t = I_E \times L \quad (3.44)$$

$$Z_r = \frac{(v-v_d)^2}{2 \times g} \quad (3.45)$$

Čáru energie zjistíme použitím Darceyho-Weisbachovy rovnice (3.46).

$$I_E = \frac{\lambda}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (3.46)$$

$$v = \frac{Q}{S} \quad (3.47)$$

$$\lambda = \frac{0,01668}{D^{0,281}} \quad (3.48)$$

V praxi se lze setkat také s ostatními ztrátami, například při zahnutí propustku, při použití konstrukce pro zachytávání splavenin, nebo při napojování segmentů propustku. Tyto ztráty je vhodné také zahrnout do výpočtu. (TP 232)

Pro hladinu na výtoku h_v platí vztahy (3.49), (3.50) a (3.51).

$$h_d < h_k < D \rightarrow h_v = h_k \quad (3.49)$$

$$h_k < h_d < D \rightarrow h_v = h_d \quad (3.50)$$

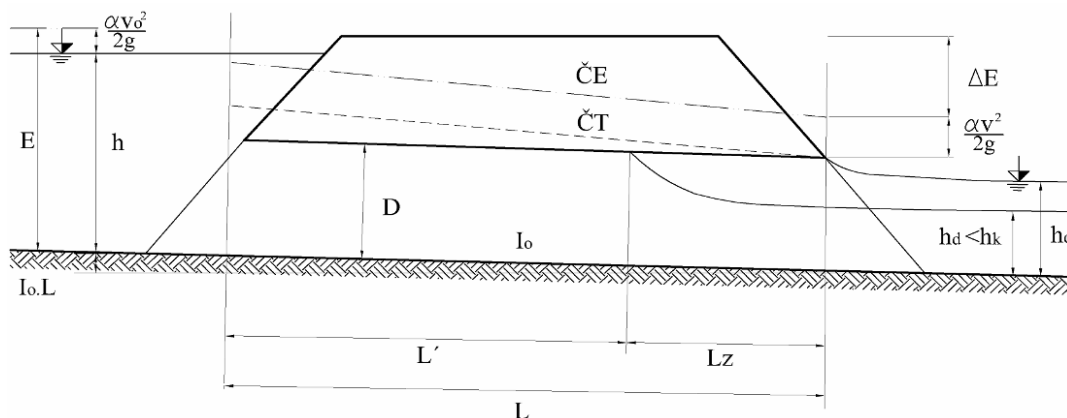
$$h_k > D \rightarrow h_v = D \quad (3.51)$$

Pokud platí vztah (3.49), nebo (3.50), tedy hloubka vody na výtoku je menší než výška respektive průměr propustku, použijeme pro výpočet metodu po úsecích pro výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění. Při výpočtu se postupuje od konce propustku, a hledá se místo, kde proudění o volné hladině přechází do proudění tlakového. Poté postupujeme podle následujících rovnic. Platí-li vztah (3.51), je hloubka na výtoku shodná s výškou, respektive průměrem propustku, řeší se propustek jako krátké potrubí za pomoci Bernoulliho rovnice (3.52) pro profil na vstoku a na výtoku z propustku. (TP 232)

$$E = (I_E - I_0) \times L + (1 + \xi) \times \frac{v^2}{2 \times g} + D \quad (3.52)$$

Za předpokladu platnosti $h = E$, platí pro výpočet průtoku rovnice (3.53).

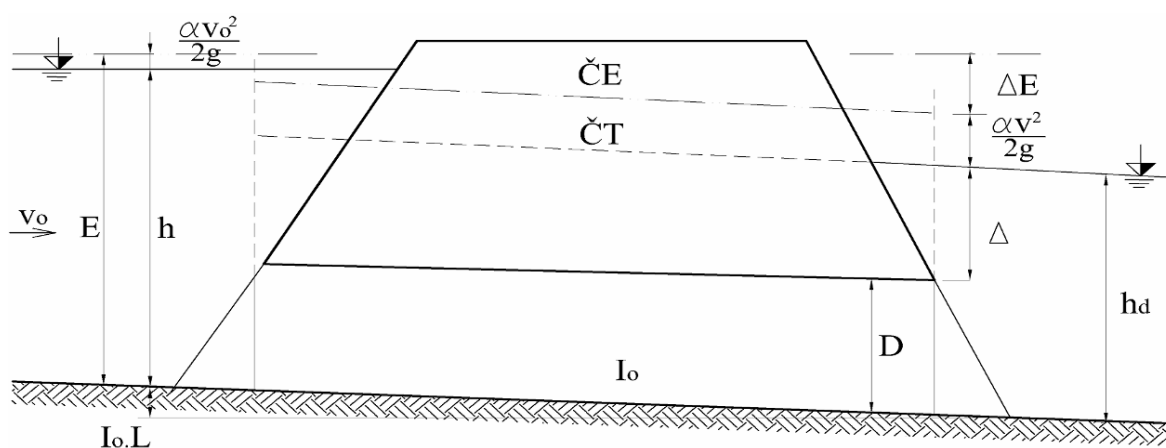
$$Q = S \times \sqrt{2 \times g} \times \sqrt{\frac{h - D + I_0 \times L}{1 + \xi + \lambda \times \frac{L}{D}}} \quad (3.53)$$



Obrázek 3-16 Schéma propustku s tlakovým prouděním a nezatopeným výtokem.

Zdroj: TP 232

3.9.2. Propustky s tlakovým prouděním se zatopeným výtokem



Obrázek 3-17 Schéma propustku s tlakovým prouděním a zatopeným výtokem.

Zdroj: TP 232

Pro propustky s tímto režimem platí vztahy (3.54) a (3.55), a řeší se jako krátké potrubí s použitím Bernoulliho rovnice ve tvaru (3.56).

$$Q > Q_D \quad (3.54)$$

$$\Delta > \Delta_{min} \quad (3.55)$$

$$E = (I_E - I_0) \times L + (1 + \xi) \times \frac{v^2}{2 \times g} + D + \Delta - \Delta_{min} \quad (3.56)$$

kde: Δ_{min} = minimální převýšení hladiny dolní vody h_d nad horní hranou propustku, při kterém lze výtok považovat za zatopený viz. (3.39);

Pro průtok platí vztah (3.57) za předpokladu platnosti $h = E$.

$$Q = S \times \sqrt{2 \times g} \times \sqrt{\frac{h - h_d + I_0 \times L + \Delta_{min}}{1 + \xi + \lambda \times \frac{L}{D}}} \quad (3.57)$$

3.9.3. Přeliv přes korunu cesty

K přelivu přes korunu cesty dochází při výskytu extrémního průtoku, který je výrazně větší než návrhový průtok, na který byl propustek dimenzován. Výpočet průtoku přes korunu cesty vychází z výpočtu přes přeliv, využije se rovnice (3.58). (TP 232)

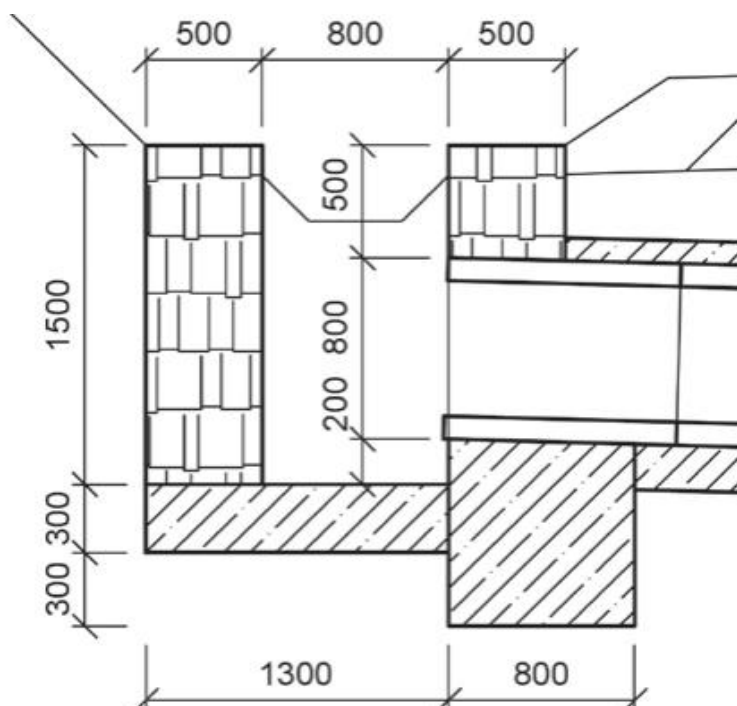
$$Q_0 = m \times b \times \sqrt{2 \times g} \times h_0^{\frac{3}{2}} \quad (3.58)$$

Kde: Q_0 = průtok přes korunu cesty; m = součinitel přepadu; b = šířka přelévané cesty; h_0 = hloubka vody před propustkem měřená od hrany cesty.

3.10. Vybavení trubních propustků

3.10.1. Vtokové jímky

Vtoková jímka je konstrukční objekt, který slouží k částečnému snížení podélného sklonu trasy, nebo k usměrnění a snížení energie přitékající k propustku. Je-li podélný sklon trasy toku příliš vysoký, lze vtokovou jímku využít k jeho snížení. Dno vtokové jímky je zapuštěno pod úroveň vtoku do propustku a slouží tedy jako prostor k usazení splavenin, při vyšším průtoku pak jako vývar. (Chochol Š. 1989)



Obrázek 3-18 Technický náčrt vtokové jímky před propustkem. Zdroj: TD LDS

Konstrukční řešení a rozměry musí umožnit převedení dostatečného průtoku, ale také pravidelnou údržbu a čištění konstrukce. Dimenzování s ohledem na průtok lze řešit obdobně jako u přepadu přes horní hrany požeráku. Přepad přes hrany požeráku se stanoví dle vztahu (3.59). (Vrána 1993)

$$Q = m \times b_0 \times (2 \times g)^{0,5} \times h^{1,5} \quad (3.59)$$

kde: Q_s = přepad přes hrany požeráku m^3s^{-1} ; m = součinitel přepadu; b_0 = účinná šířka horních hran požeráku dle vzorce (3.60); h = výška přepadového paprsku na horní hranou přelivu.

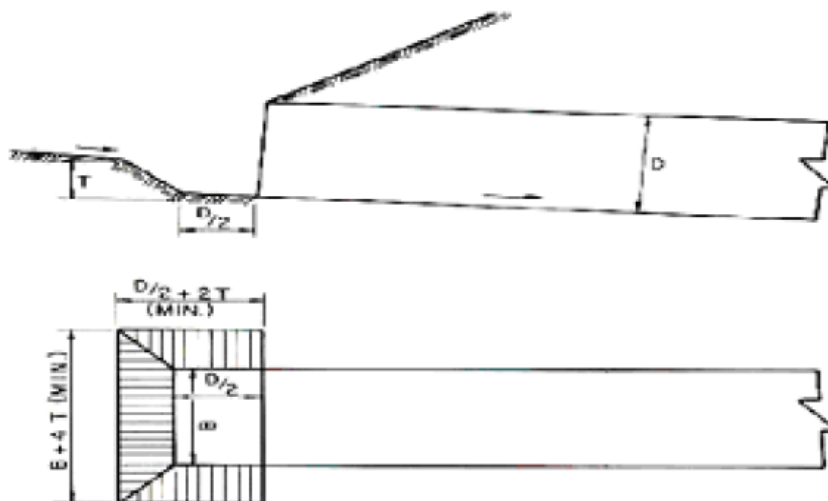
$$b_0 = b - 6 \times K_v \times h_s \quad (3.60)$$

kde: b = skutečná šířka horních hran požeráku; K_v = součinitel vtoku dle vzorce (3.61)

$$K_v = \frac{b \times K_{v0}}{b+h} \quad (3.61)$$

kde: K_{v0} = součinitel tvaru vtoku: ostrý = 0,1; zaoblený = 0,05; s úhlem 45° = 0

Vtokovou jímku lze také chápat jako formu úpravy vtokové části propustku, kdy jde v podstatě o zahloubení vtoku propustku pod niveletu současného terénu (viz. obrázek 3-19). Tím dosáhneme většího spádu a zvýšení účinnosti propustku. (TP 232)



Obrázek 3-19 Vtoková jímka jako součást úpravy vtoku do propustku. Zdroj: TP 232

3.10.2. Konstrukce pro řízení spláví

Splávim se rozumí cizorodý materiál přírodního i umělého původu, který je unášen proudem vody. Nejedná se o přirozený materiál koryta, ten se klasifikuje jako splaveniny. V kontextu lesních cest se tedy jedná především o listí, větve a kmeny. (ČSN 75 2106)



Obrázek 3-20 Splávy v korytě toku. Zdroj:https://www.edpp.cz/dou_fotodokumentace/

Možným způsobem na redukci vlivu spláví je bezeškodné převedení skrze objekt, pokud to konstrukce a rozměry objektu umožní. (Culvert design and operation guide) Další možností je zachycení spláví nad objektem, nebo jeho odklonění od trasy toku.(TP 232)



Obrázek 3-21 Deflektor spláví. Zdroj: TP 232



Obrázek 3-22 Konstrukce pro zachycení splávi nad propustkem. Zdroj: Culvert design and operation guide Figure 5.3

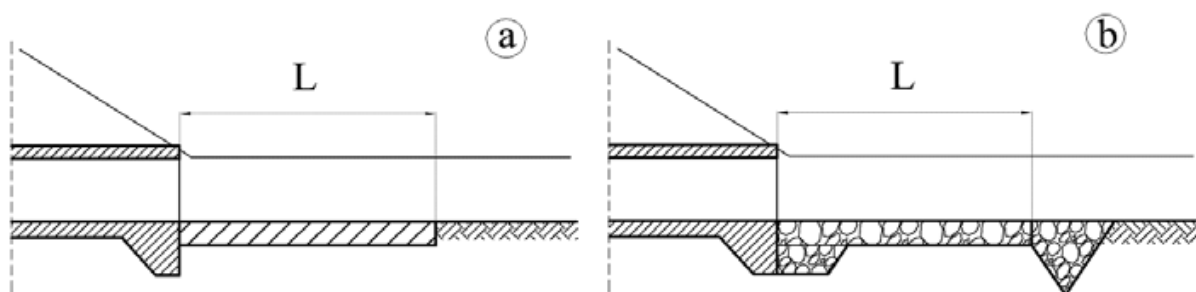
U toků méně ohrožených poškozením, nebo ucpáním splávi se většinou podobné objekty nebudují, protože stačí pouze běžná preventivní kontrola a údržba objektu. Vhodným způsobem je také adekvátní konstrukce vtoku, který by měl umožnit snadný průchod splávi objektem. (TP 232)

Využití těchto konstrukcí je vhodné především na větších tocích s trvalým průtokem. (Hydraulic Design of Highway culverts 2012) V extrémních případech, především při řešení koryt s vysokým podélným sklonem, nestabilním dnem či stržích je možné využít například flexibilní bariéry. Jde o zařízení z ocelové sítě, které je pevné a zároveň pružné a umožňuje tak zachycení těžkých kamenů, aniž by došlo k jeho poškození. (TD HB)

Ovšem i při použití těchto konstrukcí je nutné provádět údržbu, která spočívá v čištění a odstraňování zachyceného materiálu, jinak dochází ke ztrátě funkčnosti a zablokování koryta.

3.10.3. Spadiště za propustkem

Spadiště pod propustkem plní stejnou funkci jako u stupňů či přehrážek, tedy utlumení kinetické energie vody. Účelem je snížit energetický profil na takovou hodnotu, která nebude působit nadměrnou erozi koryta toku pod objektem nebo samotné lesní cesty. Na rozdíl od stupňů zde nepočítáme s doskokem vodního paprsku, jelikož zde nedochází ke snížení podélného sklonu. Dopadiště se zpravidla navrhuje ve stejném sklonu jako propustek. (TD HB)



Obrázek 2-23 Spadiště za propustkem. Zdroj: TP 204

Délka spadiště na lesních cestách se zpravidla navrhuje v délce 3 m u propustku o průměru do 600 mm, 6 m u propustku do 800 mm a 10 m u propustku do 1000 mm. U propustku s průměrem větším než 1000 mm se délka spadiště navrhuje na základě hydraulického výpočtu. Výpočet délky spadiště spočívá ve zjištění, jak dlouho musí voda téct spadištěm, než dojde ke ztrátě kinetické energie, kterou voda získala při průtoku propustkem. K tomu dojde při vyrovnání energetického profilu vody ve spadišti s hodnotou požadovanou, pro kterou nehrozí eroze koryta. (TD HB) Výpočet se provede dle rovnice (3.62)

$$L = \frac{E_{kp} - E_d}{i_e - i_p} \quad (3.62)$$

kde: L = délka spadiště; E_{kp} = energetický profil na výtoku z propustku; E_d = energetický profil požadovaný pro koryto za propustkem; i_e = sklon čáry energie; i_p = sklon dna spadiště.

$$ie = \frac{Q^2}{S^2 C^2 R} \quad (3.63)$$

kde: Q = průtok; S = průtočná plocha; C = rychlostní součinitel; R = hydraulický poloměr;

Při výpočtu sklonu čáry energie ve spadišti se uvažují hodnoty ve středu účinné délky spadiště. Pro rychlostní součinitel z rovnice (3.63) lze v případě spadiště s vysokou drsností a nepravidelným rozmístěním použít Mostkovových vzorec (3.64). (TD HB) Tento vzorec platí za dodržení podmínky vyplývající ze vztahu (3.65). (Mostkov 1959)

$$C = 22 \times \log \frac{R}{1.3 \times k} + 9.5 \times \frac{1.3 \times k}{R} + 1.5 \quad (3.64)$$

kde: k = výška výstupků zdrsnění; konstanta 1,3 vyjadřuje hydraulický účinek výstupku i do určité vzdálenosti od něj;

$$1.3 \times k < R \quad (3.65)$$

U případů, kdy je průtok relativně nízký, může snadno dojít k nesplnění podmínky (3.65) Pro odhad délky spadiště je možné v tomto případě využít vzorec (3.66).

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (3.66)$$

kde: n = Manningův drsnostní součinitel; y = exponent, hodnota 1/6 podle Manninga, nebo dle tabulky (3-3)

n	<0,010	0,013	0,018	0,025	0,040	0,080	0,200
y	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2

Tabulka 3-3 Hodnoty exponentu y pro různé stupně drsnosti n . (Macura 1958)

Manningův součinitel drsnosti lze stanovit dle vzorců (3.67) a (3.68)

$$n = \frac{d_m^{0,167}}{c} \quad (3.67)$$

kde: d_m = směrodatné zrno; c = konstanta z tabulky (3-4)

d_m	c	d_m	c	d_m	c
0,01	20,49	0,11	16,46	0,16	15,31
0,03	19,58	0,12	16,16	0,17	15,20
0,05	18,71	0,13	15,90	0,18	15,12
0,07	17,88	0,14	15,67	0,19	15,10
0,09	17,49	0,15	15,47	0,20	15,10

Tabulka 3-4 Hodnota konstanty c dle velikosti směrodatného zrna. Zdroj: (TD HB)

$$n = \frac{1}{a} \times d_m^{1/6} \quad (3.68)$$

Kde: a = konstanta dle tabulky (3-5)

Autor	a	d	Poznámka
Strickler	21,1	d (m)	Homogenní písková drsnost pevné dno
Strickler	24,4	d_{50} (m)	(viz Chanson 1999)
Meyer-Peter a Müller	26,0	d_{90} (m)	Písek, směs; ne pro dnovou dlažbu $R/d_{90} > 10$
Raudkivi (1976)	76,9	d_{65} (mm)	
Garde a Raju (1978)	21,3	d_{50} (m)	
Henderson	26,31	d_{75} (m)	
Henderson	29,4	d_{50} (ft)	

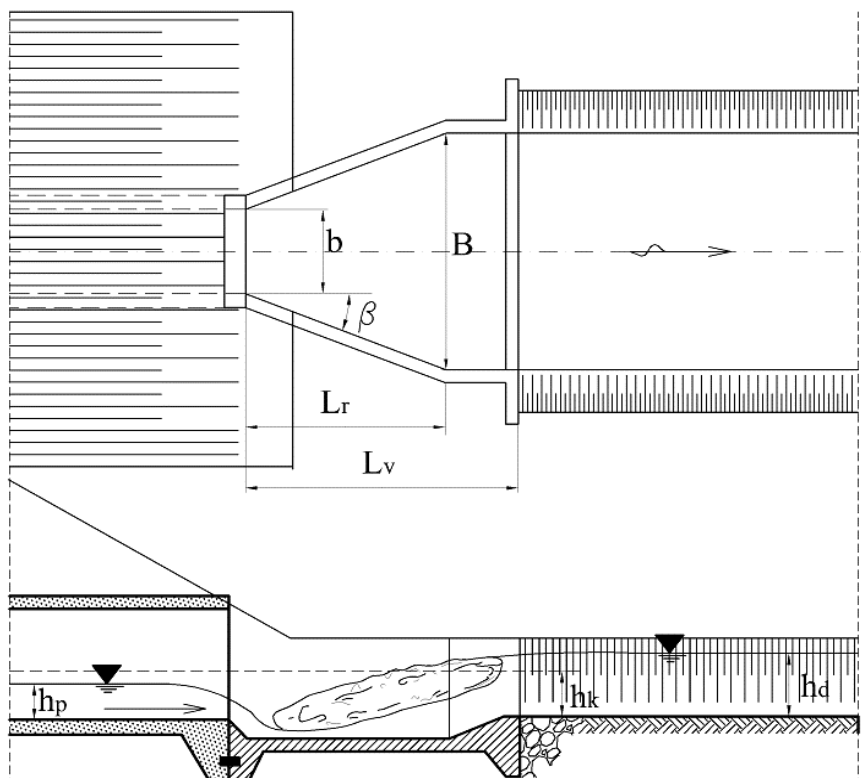
Tabulka 3-5 Hodnoty konstanty a uváděné různými autory. Zdroj: Macura 1958)

3.10.4. Čelo propustku

Čela propustku se zpravidla navrhují z prefabrikovaného betonu, čímž se snižují náklady a doba potřebná na výstavbu. U propustků na sjezdech se z důvodu bezpečnosti upřednostňují čela šikmá před kolmými, pokud to nevyžaduje hydraulické řešení. V případě potřeby je vhodné oblast vtoku opevnit nebo využít křidel, která tok usměrní a ochrání podloží cesty. (TP 232) Minimální délka čela trubního propustku je 3,6; 4,4; 5,5 m pro propustky o průměru 600; 800; 1000 mm. (ČSN 73 6108)

3.10.5. Vývar za propustkem

Pokud dochází v propustku k bystřinnému proudění, a zároveň je zapotřebí dosáhnout v korytě za propustkem proudění říčního, je nutné vybudovat vývar. V něm dochází k vodnímu skoku, což je jev, při kterém dochází ke ztrátě kinetické energie vody, snížení rychlosti a zvětšení hloubky. Zpravidla se zřizuje vývar divergentní, který se postupně zužuje. (TP 204)



Obrázek 3-24 Vývar za propustkem. Zdroj: TP 204

Ke snížení erozního vlivu vody vytékající z propustku, která často v závislosti na sklonu potrubí dosahuje vysokých rychlostí, je možné použít i dostatečně velké kameny, které zajistí zpomalení vody a snížení eroze. (Weaver 1994)

3.11. Návrhový průtok propustků na lesních cestách

3.11.1. Dimenzování na N-letý průtok

Návrhový průtok se u propustků na lesních cestách volí s ohledem na uvažovanou životnost objektu, případně lesní cesty. (ČSN 75 1400) Životnost lesních cest se předpokládá 20 let. Z tohoto důvodu volíme pro daný uzávěrový profil, kterým je místo vtoku do propustku, návrhový průtok $Q_N = Q_{20}$.

V odůvodněných případech lze zvolit odlišný návrhový průtok. Na cestách návrhové kategorie 2L bez vozovky lze uvažovat návrhový průtok $Q_N < Q_{20}$. Nižší návrhový průtok je nutné v projektu zdůvodnit jako výjimku z normy (ČSN 73 6108). Naopak návrhový průtok $Q_N > Q_{20}$ se použije s ohledem na ochranu majetku a životů v okolí lesní cesty, pokud to vyplývá z platné legislativy. (TD LDS)

3.11.2. Dimenzování metodou modelového deště

V případě dimenzování propustku, který je bez pravidelného průtoku, lze ke stanovení návrhového průtoku použít metodu modelového deště podle normy (ČSN 73 6201) a (75 6101) s využitím rovnice (3.69), kdy $Q_N = Q_{dim}$

$$Q_{dim} = P_{red} \times q_s \quad (3.69)$$

Kde: P_{red} = Suma dílčích ploch povodí redukovaných součinitelem odtoku; q_s = intenzita modelového deště v $l s^{-1} ha^{-1}$;

$$P_{red} = \sum_{i=1}^n P_i \times \gamma_i \quad (3.70)$$

Kde: P_i = dílčí plocha povodí; γ_i = součinitel odtoku;

Součinitel odtoku je pro lesy do sklonu 5% roven 0,05; pro pole do sklonu 5% a lesy se sklonem více než 5% je roven 0,10; pro pole se sklonem nad 5% je roven 0,15. (ČSN 73 6201)

3.12. Konstrukční řešení propustku

3.12.1. Směrové řešení vůči trase cesty

Křížení propustku s pozemní komunikací nebo lesní cestou se navrhuje tak, aby byl propustek co nejkratší. A to z důvodu nižších nákladů, snazší údržby a menšího vlivu na průtok. Propustek, spadiště nebo vývar a případně i vtoková jímka musí být vhodně stabilizovaná proti pohybu. Většinou se používají dostatečně dimenzované betonové patky 600 x 600 mm. Spadiště lze stabilizovat například pasem, který sahá do hloubky 2 – 3 násobku tloušťky opevnění spadiště. (TP 232)

3.12.2. Podélný sklon a rozměry

Podélný sklon propustku se připouští minimálně v míře 0,5%, aby nedocházelo ke snížení hydraulické účinnosti propustku a usazování splavenin v potrubí. Maximální sklon pak nemá přesahovat 5%. Sklon je zde důležitý, jelikož jde o hlavní parametr ovlivňující rychlost proudění v propustku pro daný průtok. Vzhledem k tomu nesmí sklon, respektive rychlost proudění přesáhnout mezní hodnoty pro daný materiál propustku. (ČSN 73 6201) Tato hodnota se například pro betonové trouby pohybuje v rozmezí 5 - 6 ms⁻¹. (TP 232)

Vyhláška č. 104/1997 Sb. § 35 stanoví nejmenší přípustný průměr propustku na 600 mm. Nejmenší povolený průměr propustku v lesní cestě je dle (vyhlášky 239/2017 Sb.) 510 mm. Přesné rozměry propustku se poté stanoví na základě hydrotechnického posouzení. V případě propustku pod sjezdem se připouští průměr 400 mm, a to pouze v případě, kdy délka propustku nepřekročí 6 m. (Vyhláška č. 104/1997 Sb.)

Doporučené průměry propustků uvádí norma (ČSN 73 6201). Rozměry propustku jsou závislé na podélném sklonu a délce propustku. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce (3-6). U propustků o větší délce, zpravidla nad 10 m, je nutné navrhovat průměr s ohledem na potřeby čištění minimálně 800 mm. (TP 232)

Sklon dna propustku i_0	Doporučená světlost propustku při délce propustku L				
	$L < 10\text{m}$	$10\text{ m} < L < 15\text{m}$	$15\text{ m} < L < 20\text{m}$	$20\text{m} < L < 30\text{m}$	$L > 30\text{m}$
$i_0 < 2\%$	600mm	800 mm	1000 mm	1200 mm	1200 mm
$i_0 > 2\%$	600mm	600 mm	800 mm	1000 mm	1200 mm

Tabulka 3-6 Doporučené rozměry propustku dle normy. (ČSN 73 6201).

3.12.3. Materiál propustku

Propustek jako takový se skládá z několika hlavních částí. Krom lože trouby a materiálu zásypu, které jsou řešeny v samostatné kapitole, je zvažován materiál trouby a čel propustku. Rovněž vliv materiálu trouby na hydraulické vlastnosti je podrobně řešen v kapitole (3.5.3). Materiál trouby má také zásadní vliv na statické vlastnosti propustku, viz. (kapitola 3.13.6.) Pro čela je na lesních cestách běžně využívá zdivo z lomového kamene a kamenná dlažba na betonové lože. Jinak se často používají prefabrikovaná betonová čela. Obdobné řešení se používá i pro vtokové jímky (TP 232). Trouby propustku jsou nejčastěji betonové / železobetonové, ocelové a plastové.

Železobetonové trouby jsou relativně levnou variantou, v porovnání například s troubami ocelovými (CS ÚRS 2021-II). Většinou jsou dodávány po sekcích o délce např. 250 cm. Jedná se o trouby se silnou stěnou, běžně 10 – 13 cm (TPD 2019). Jde o potrubí tuhá, což znamená, že k jejich poškození by došlo již při malé deformaci. (TVN 75 0211) Modul pružnosti, který vyjadřuje, jak velkému tlaku dokáže materiál odolávat, než dojde k deformaci, dosahuje u betonových potrubí hodnoty 30 000 – 40 000 N/mm², a to v závislosti na konkrétní variantě. (ČSN EN 1991-1-1)



Obrázek 3-25 Betonová trouba, segmenty. Zdroj: <https://www.prefa.cz/wp-content/gallery/Trouby-kruhove/trouby-kruhove-02.jpg>

Další možností jsou trouby ocelové, které jsou dodávány zpravidla jako podélně a spirálovitě svařované ve zvolené délce. Pro rozměr DN 600 - 800 se jedná o trouby s tloušťkou stěny 8 – 9 mm (MTZ Servis). Jedná se o relativně nákladnou variantu, která vychází zhruba čtyřikrát draž než trouba betonová (CS ÚRS 2021-II). Jedná se o potrubí částečně poddajná, u menších dimenzí poddajná. Modul pružnosti je ze zde zvažovaných hodnot výrazně nejvyšší a dosahuje hodnot 210 000 N/mm². (ČSN EN 1991-1-1)



Obrázek 3-26 Ocelová trouba. Zdroj: <https://www.mtz-servis.cz/obrazek/2/nove-trubky-s-atestem-jpg/>

Třetí často využívanou variantou jsou korugované plastové trouby. Jedná se o variantu nejlevnější, avšak úspora oproti trubě betonové není nijak vysoká (CS ÚRS 2021-II). Tloušťka stěny těchto trub se pohybuje v rozmezí 3 – 5 cm, včetně korugovaného profilu. Další výhodou je nízká hmotnost, dlouhá životnost a minimální potřeba údržby, pouze mechanické čištění. (Wavin Katalog inženýrské sítě 2016). Nevýhodou pak nižší zatížitelnost v porovnání s ostatními materiály. Jedná se o poddajné potrubí, které nesmí být uloženo do betonového sedla viz. (kapitola 3.13.3.) Modul pružnosti je v rozmezí hodnot 1000 – 3500 N/mm² v závislosti na výrobci. (ČSN EN 1991-1-1)



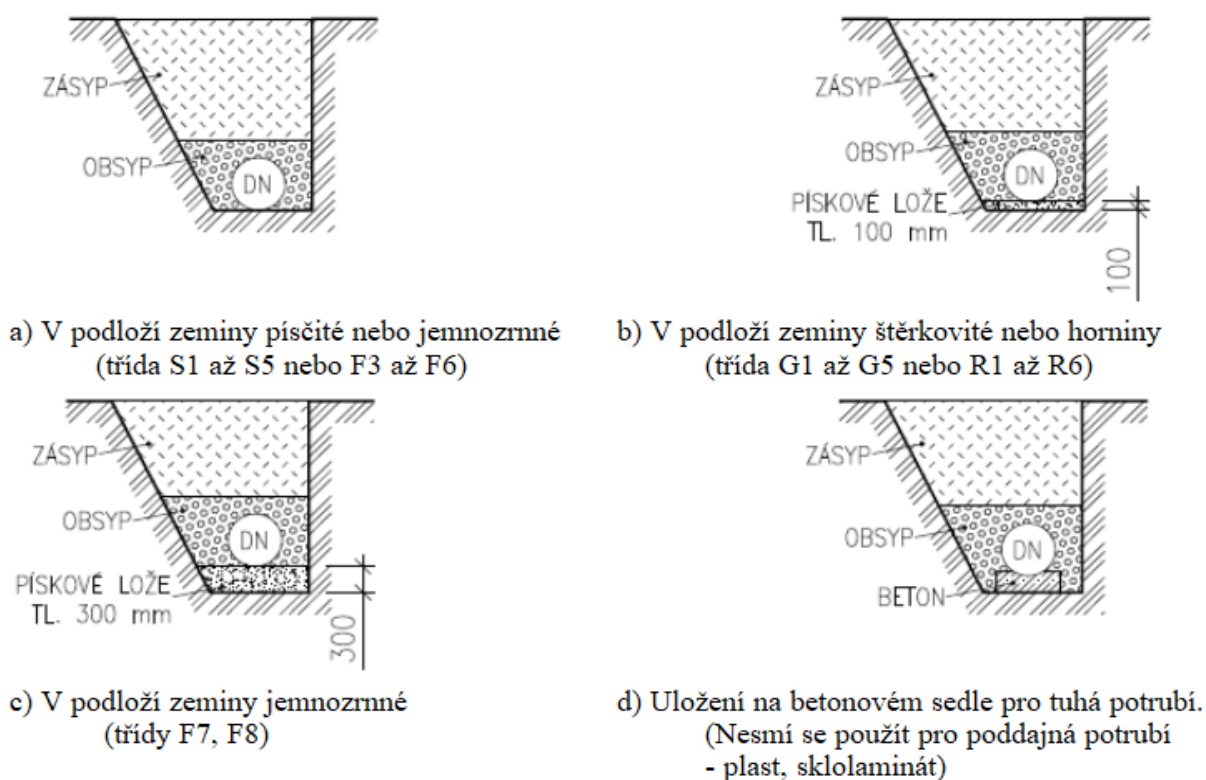
Obrázek 3-27 Plastová trouba. Zdroj: https://pkvplus.s6.cdn-upgates.com/_cache/8/1/811e9940cc416a8e4a5430d3f62d64d8.jpg

3.13. Zemní práce, uložení a zatížení propustku

Způsob uložení trouby propustku do země výrazně ovlivní velikost i charakter sil, které na konstrukci působí při ukládání. Zároveň také ovlivňují, jak se budou postupem času měnit. Podle oborové normy (TNV 75 0211) lze rozlišit dva hlavní způsoby uložení.

3.13.1. Ukládání do rýhy nebo zářezu

Tento způsob je nejčastěji využívaný. Tíha zeminy zásypu a obsypu zatíží troubu po celém obvodu, přičemž velikost tohoto zatížení se od momentu zasypání postupným sednutím zeminy a případným hutněním mění. Tvar výkopu nebo rýhy musí být v souladu s výsledky geotechnického průzkumu. Pro ukládání trouby rozměru DN 800 je šíře ve dně rýhy 1,65 m, pro DN 600 1,3 m. Sklon stěn výkopu se navrhuje v poměru 1:0,6.



Obrázek 3-28 Příčný řez trasou propustku uloženého ve výkopu s různou konstrukcí lože.

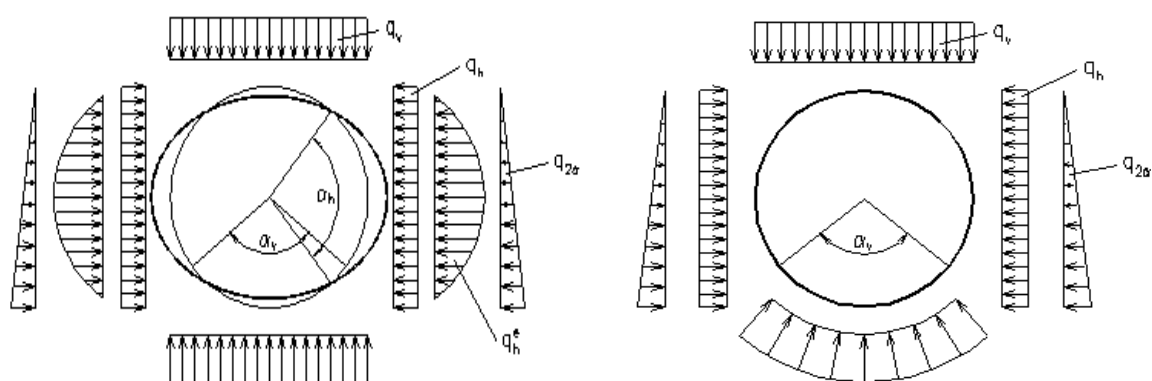
Zdroj: (TNV 75 0211)

3.13.2. Ukládání bez výkopu

Při ukládání propustku tímto způsobem se trouba vpraví přímo do terénu. Tlak zeminy na potrubí zůstane od okamžiku instalace téměř neměnný. Naopak se objevuje vliv podélného namáhání v tlaku či tahu, který je způsoben zatlačováním nebo protahováním trouby skrze terén.

3.13.3. Lože trouby

Při ukládání trouby do země je volba lože klíčová. Trouba může být uložena přímo na podkladu rostlé zeminy, pokud má tato odpovídající vlastnosti. Pokud vlastnosti půdy nejsou dostatečné pro zajištění stability konstrukce, je nutné zvolit lože o vhodné tloušťce i konstrukci. Volba lože a jeho konstrukce závisí také na materiálu trouby, kdy poddajná potrubí, kam patří například plastové a sklolaminátové trouby, mají být ukládány na pískové lože. Tuhé potrubí se ukládá na lože z betonu, nebo do betonového sedla. (TNV 75 0211)

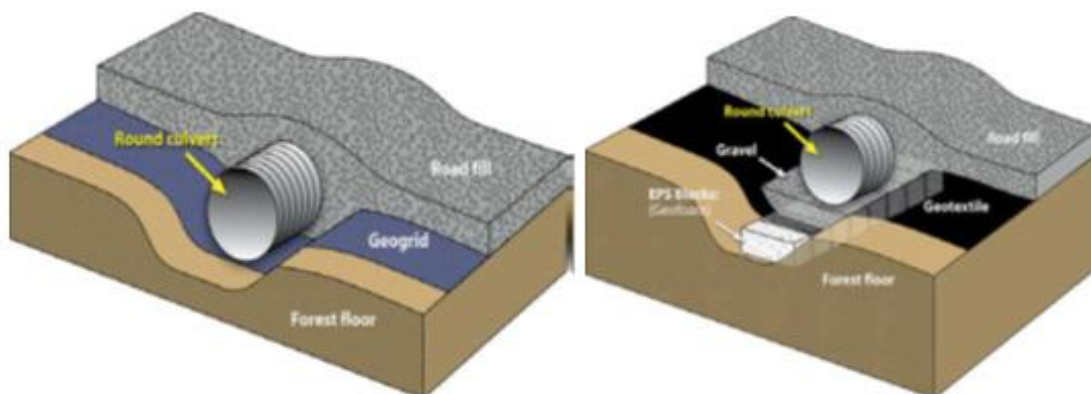


Obrázek 3-29 Konstrukce lože pod propustkem, vlevo poddajné potrubí, vpravo tuhé potrubí v betonovém sedle. Zdroj: (TNV 75 0211)

Na lokalitách se skalnatým podložím se propustek zakládá do lože z písku, štěrkopísku, hrubozrnné zeminy nebo kamenivem s velikostí zrna maximálně 22 mm. Lože musí být homogenní a hladké o tloušťce minimálně 200 mm. Musí odpovídat zhutnění minimálně $I_D = 0,80$ a únosnosti 200 kPa v místě kontaktu s troubou. U modulu přetvárnosti terénu je požadována hodnota minimálně 30 MPa. (TP 94)

V případě potřeby se navrhuje zlepšení zeminy dle (TP 94), které spočívá především v mechanické úpravě, mísení a úpravě vlhkosti. Především v jílovitých nebo objemově nestálých půdách se využívá úprava zemin textilními vlákny nebo příměsí pojiva. Před samotnou úpravou je nutné v souladu s (ČSN 73 6133) odstranit veškerou vegetaci z podloží a povrch odvodnit například vyspádováním nebo drenáží.

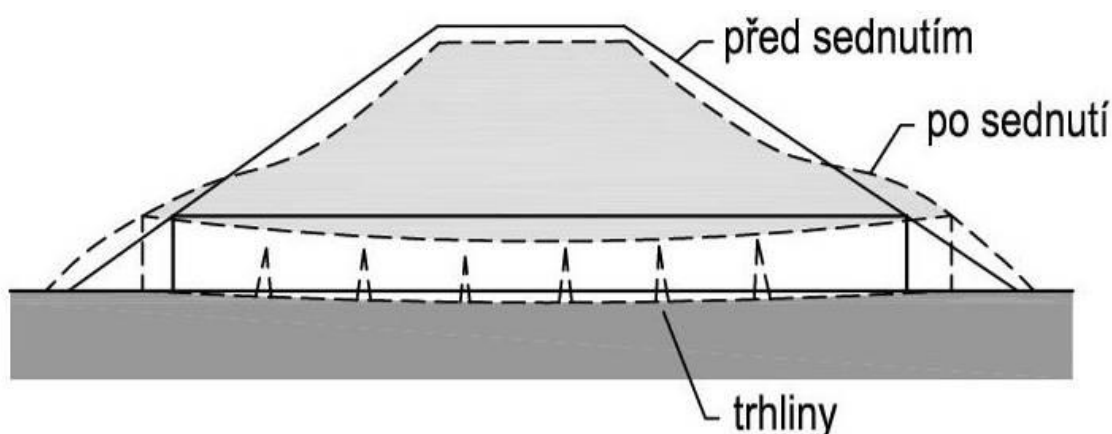
Partington 2013 uvádí alternativní možnosti pro lože propustku s cílem snížit náklady na zemní práce. Příkladem je využití lože z geosít, geotextilií, EPS desek v kombinaci se štěrskem. Tyto metody však zatím nejsou rozsáhle otestovány a není potvrzena jejich životnost a stabilita.



Obrázek 3-30 Příklad alternativních konstrukcí lože propustku. Zdroj: Partington 2013

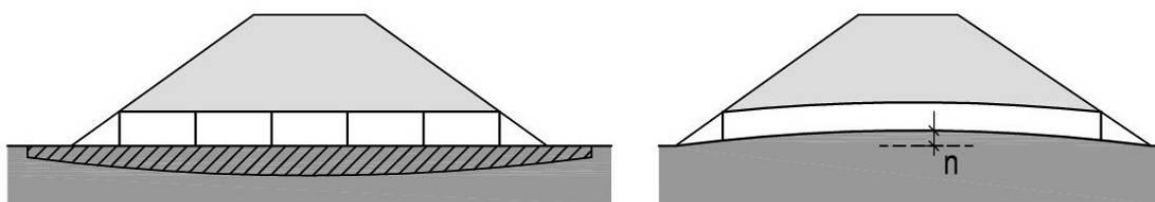
3.13.4. Deformace podloží

U podkladní vrstvy dojde časem k sedání a propustek se deformuje. K tomu dochází v důsledku různé míry zatížení tělesem vozovky a přejezdem vozidel viz.(obrázek 3-31).



Obrázek 3-31 Deformace propustku v důsledku sednutí. Zdroj: TP 94

Zatížení není po celé délce propustku rovnoměrné, ve středu délky dochází zpravidla k největšímu sedání, které dosahuje 1/100 až 1/25 světlé výšky propustku. Z tohoto důvodu se zásadně navrhují propustky kolmo na osu cesty, u kterých nehrozí vyosení jednotlivých segmentů. (TP 94) Pokud lze očekávat významné sednutí, provede se takzvané nadvýšení podloží. Jeho hodnota se stanoví jako rozdíl mezi sednutím pod čely propustku a v jeho středu viz.(obrázek 3-32)



Obrázek 3-32 Stanovení nadvýšení podloží. Zdroj TP 94

3.13.5. Zásyp a obsyp propustku

Zhutnění zásypu a obsypu se navrhuje podle (TKP kapitola 4) tak aby nedošlo k poškození nebo vyosení potrubí. Zасыpávání a hutnění se provádí po vrstvách o tloušťce maximálně 300 mm, zhutnění musí odpovídat požadavkům normy ČSN 73 6244.

Pro zásyp je vhodné využít materiály nezamrzavé, převážně hrubozrnné, jako jsou štěrk a písek. Tyto materiály dobře vyplní prostor mezi žebry na korugvaných trubách a dobře k potrubí přilnou. To je podstatné pro dobré upevnění porubí a zabránění posuvu v důsledku vibrací způsobených prouděním vody a přejezdem vozidel. Minimální vrstva obsypu musí nad konstrukcí propustku dosahovat alespoň $\frac{1}{4}$ světlé výšky propustku. (TKP kapitola 4)

3.14. Zatížení a statické řešení propustku

Dle oborové normy (TNV 75 0211) je součástí statického posouzení propustku rozbor sil, které působí na propustek a jeho podloží v důsledku různých zatížení. Jednotlivé síly je potřeba při návrhu zohlednit a zajistit stabilitu i za jejich působení. Tyto síly mohou mít charakter statický, jako například zatížení zeminou či násypem, nebo dynamický, kam patří zatížení přejezdem a jiná nahodilá zatížení. Dále lze vylišit ještě mimořádné zatížení, kam lze zařadit například seismické vlivy. Při navrhování je nutné dodržet maximální zatížitelnost potrubí udávanou výrobcem a únosnost podloží. Zatížení vozovky v součtu se zatížením zásypem nesmí přesáhnout zatížitelnost potrubí. Zároveň součet zatížení vozovky, zatížení zásypem, zatížení náplní a zatížení vlastní tíhou nesmí přesáhnout únosnost terénu.

3.14.1. Zatížení vlastní tíhou

Stálé zatížení vlastní tíhou se určí na základě charakteristických hodnot objemové tíhy materiálu potrubí a charakteristických hodnot geometrických veličin, které odpovídají rozměrům potrubí. Návrhová hodnota zatížení vlastní tíhou udává vztah (3.71).

$$G_{dk} = \gamma_G \times G_k \quad (3.71)$$

Kde: G_{dk} = návrhová hodnota zatížení; γ_G = dílčí součinitel stálého zatížení, uvažuje se hodnota 1.10; G_k = charakteristická hodnota zatížení;

3.14.2. Tíha a tlak vody uvnitř propustku

Charakteristické zatížení vodou uvnitř propustku se určí na základě uvažovaného objemu vody v potrubí při maximálním návrhovém průtoku a objemové tíhy vody. Tlak vody v potrubí je u propustku bez stálého průtoku považován za nahodilý jev. V případě trvalých vodotečí a tlakové kanalizace je nutné tento tlak podrobněji řešit, viz. (ČSN EN 805 A ČSN EN 1610).

3.14.3. Svislé zatížení zeminou

Rýhové zatížení potrubí se určuje výpočtem interakce mezi potrubím a zeminou. Zemní tlak na zasypané potrubí se stanoví na základě analýzy statického i kinematického pole přetvoření pro příslušný typ potrubí a přilehlou zeminu. Pro zjednodušení lze uvažovat zjednodušené rozdělení vertikálního tlaku zeminy v závislosti na tuhosti potrubního prstence. Svislé zatížení v uvažované hloubce se určí na základě znalostí o materiálu zásypu z návrhových hodnot objemové tíhy zemin pro dané geometrické uspořádání systému. Návrhová hodnota objemové tíhy zeminy zásypu musí být stanovena na základě znalostí o dostupném materiálu pro zásyp. Při výpočtu mezního stavu únosnosti za trvalé nebo přechodné návrhové situace se vynásobí dílčí součinitel stálého zatížení pro tíhu zeminy γ_{Gz} hodnotou 1,35. Návrhové hodnoty zemního tlaku se určí ze vztahu (3.72). (TVN 75 0211)

$$G_{dr} = G_r \times K \quad (3.72)$$

Kde: G_{dr} = návrhové rýhové zatížení; G_r = rýhové zatížení; K = součinitel zemního tlaku;

Rýhové zatížení vychází z objemové tíhy, geometrických veličin zásypu uvedených v návrhu a velikosti tření zásypu o stěny rýhy, stanoví se dle rovnice (3.73). Součinitel rýhového zatížení vychází z poměru hloubky a šířky zásypu a objemové hmotnosti zásypu. Součinitel zemního tlaku závisí zejména na drsnosti potrubí v místě styku se zeminou obsypu, respektive efektivního úhlu vnitřního tření mezi zeminou a povrchem potrubí. Stanoví se dle rovnice (3.74). (TNV 75 0211)

$$G_r = K_r \times \gamma_z \times b^2 \quad (3.73)$$

Kde: K_r = součinitel rýhového zatížení; γ_z = objemová tíha zeminy; b = šíře rýhy;

$$K_0 = (1 - \sin \theta) \times R_{oc}^{1/2} \quad (3.74)$$

Kde: Φ = efektivní hodnota úhlu vnitřního tření zeminy; R_{oc} = číslo prekonsolidace zeminy, pro normálně ukládané a hutněné zeminy rovno jedné;

3.14.4. Zatížení přejezdem mechanizace

Za normálních podmínek je zatížení dopravou včetně dynamických přírůstků považováno za nahodilé zatížení. Zatížení od dopravy způsobuje svislé, vodorovné, statické a dynamické síly. Při výpočtu se uvažují vybrané reálně možné návrhové situace. Rozhodujícím stavem je obvykle kombinace modelu zvláštního vozidla příslušného pro danou třídu komunikace a kategorii provozu podle platné normy. (TVN 75 0211) Hodnoty zatížení se uvažují dle (ČSN EN 1991-3). Zatížení vozovky se přenáší do tělesa zásypu zhruba pod úhlem 45°.

$$G_p = \frac{p_0}{\pi} \times (2 \times \alpha_z + \sin (2 \times \alpha_z)) \quad (3.75)$$

Kde: G_p = zatížení přejezdem mechanizace; p_0 = zatížení vozovky; α_z = úhel roznosu sil v zásypu;

3.14.5. Zatížení podzemní vodou

Při určení tlaku podzemní vody se musí vycházet z dostupných údajů geotechnického průzkumu o místních hydrologických a hydrogeologických podmínkách staveniště. Zvláštní pozornost se musí věnovat výpočtu, jestliže hydrostatické síly jsou silami převládajícími, tedy pro trvalou nebo přechodnou návrhovou situaci prázdného potrubí při vysoké hladině podzemní vody a nízké vlastní tíze potrubí. (TNV 75 0211)

3.14.6. Ostatní zatížení

Mezi ostatní zatížení řadíme například dynamické účinky zatížení na povrchu, zatížení v průběhu stavby a zatížení v důsledku teplotní roztažnosti materiálu, Obecně je tento druh zatížení považován za nedominantní. (TNV 75 0211)

3.15. Kontrola a péče o propustky

Péči o propustky lze rozdělit na preventivní údržbu a opravy v důsledku poškození. Podle rozsahu poškození provádíme opravu, nebo rekonstrukci objektu. Opravou se rozumí takový zásah, který nemění konstrukční řešení ani funkční podstatu objektu. Rekonstrukce je pak rozsáhlý zásah s účelem alespoň částečně změnit konstrukci objektu, většinou zvýšit odolnost. (ČSN 75 2106)

Kontrola a následné čištění propustku je nezbytné, především pokud je splaveninový režim lokality nepříznivý, nebo pokud se při vyšším průtoku vyskytuje velké množství spláví, což je na lesních cestách běžné.

Je-li to nutné a ekonomicky účelné, lze vybudovat před propustkem filtrační zařízení nebo konstrukce zabraňující vniknutí cizího tělesa do propustku. (Weaver 1994) Z tohoto důvodu není vhodné využívat kruhové propustky s nižším průměrem, i když to nevyžaduje návrhový průtok. (ČSN 75 2106)

Filtrační zařízení a konstrukce pro zachycení spláví se budují především na významnějších tocích nebo v obydlených oblastech a pod silnicemi, kde by případné ucpání propustku mělo daleko vážnější důsledky než poškození lesní cesty. (Hydraulic Design of Highway culverts 2012) Ve většině případů se takovéto konstrukce na propustcích na lesních cestách nebudují. Údržba pak spočívá především v kontrole stavu propustku a jeho pravidelném čištění při prohlídkách (TP 232).

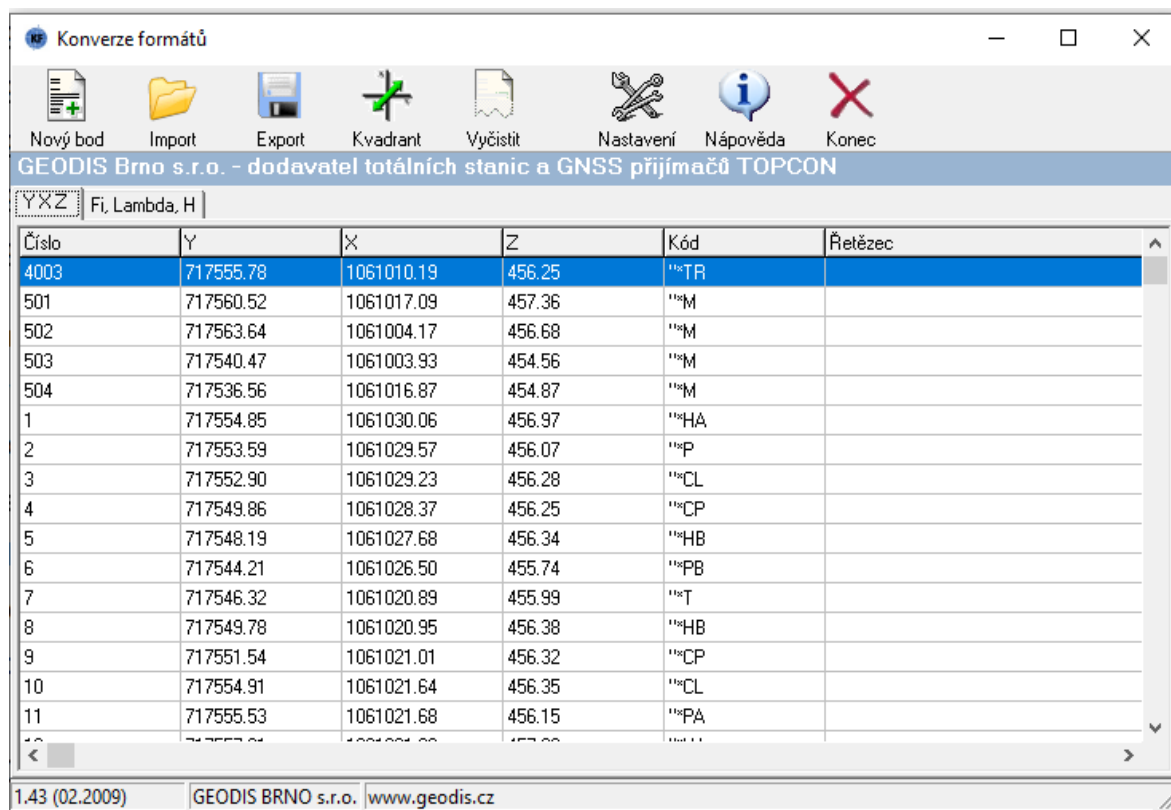
Prohlídky propustků se dělí na běžné hlavní a mimořádné, kdy toto dělení je určeno především pro propustky na silnicích a větších vodních tocích. (ČSN 73 6221) Propustky na lesních cestách jsou zpravidla kontrolované preventivně a je vhodné provést kontrolu po vydatných srážkách.

Při nahromadění většího množství spláví a splavenin v propustku nebo těsně za ním je nutné propustek a spadiště vyčistit. Pokud nedojde k vyčištění, hrozí riziko poškození propustku nebo lesní cesty. Pokud již došlo k poškození, které má vliv na funkci, nebo stabilitu propustku, jeho vybavení, nebo cesty, je nutné neprodleně provést opravy a zabránit dalšímu zhoršování stavu.

3.16. Využití software pro navrhování propustků

3.16.1. Konform

Jedná se o jednoduchý program, který slouží k převodu souřadnice mezi kvadranty. Původní data, která vznikla geodetickým zaměřením lokality, jsou zaznamenána v souřadnicovém systému S-JTSK. Jedná se o souřadnicový systém používaný v České republice. Souřadnice jsou umístěny v prvním kvadrantu a jsou tedy vždy kladné. Začátek obou os je ovšem oproti ostatním souřadnicovým systémům otočen. Je tedy nutné před importem dat do většiny GIS-ových programů převést souřadnice do třetího kvadrantu, kde jsou obě souřadnice záporné. Pro účely této práce by k tomuto použít program „Konform“ vydaný společností GEODIS Brno s.r.o..



The screenshot shows the 'Konverze formátů' (Format Conversion) window of the Konform software. The window title is 'Konverze formátů'. The menu bar includes: Nový bod, Import, Export, Kvadrant, Vyčistit, Nastavení, Nápověda, and Konec. The status bar displays 'GEODIS Brno s.r.o. - dodavatel totálních stanic a GNSS přijímačů TOPCON'. Below the menu bar, there is a coordinate system selector showing 'XYZ' and 'Fi, Lambda, H'. The main area contains a table with the following data:

Číslo	Y	X	Z	Kód	Řetězec
4003	717555.78	1061010.19	456.25	""TR	
501	717560.52	1061017.09	457.36	""M	
502	717563.64	1061004.17	456.68	""M	
503	717540.47	1061003.93	454.56	""M	
504	717536.56	1061016.87	454.87	""M	
1	717554.85	1061030.06	456.97	""HA	
2	717553.59	1061029.57	456.07	""P	
3	717552.90	1061029.23	456.28	""CL	
4	717549.86	1061028.37	456.25	""CP	
5	717548.19	1061027.68	456.34	""HB	
6	717544.21	1061026.50	455.74	""PB	
7	717546.32	1061020.89	455.99	""T	
8	717549.78	1061020.95	456.38	""HB	
9	717551.54	1061021.01	456.32	""CP	
10	717554.91	1061021.64	456.35	""CL	
11	717555.53	1061021.68	456.15	""PA	

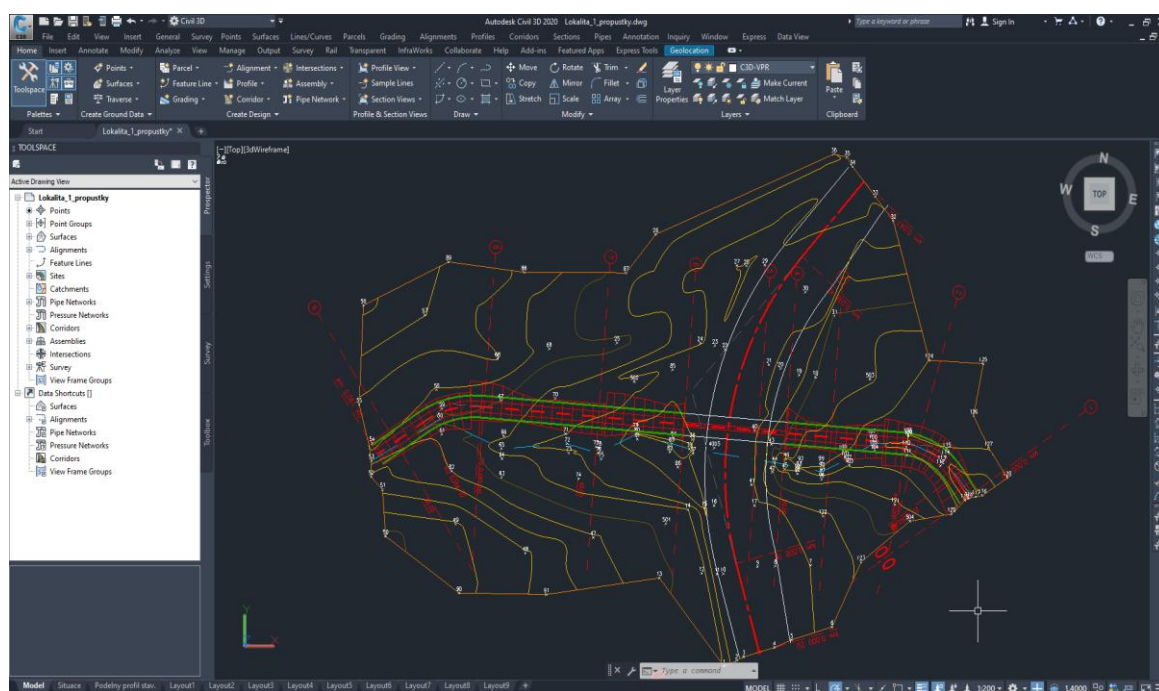
The status bar at the bottom shows the version '1.43 (02.2009)' and the company information 'GEODIS BRNO s.r.o. www.geodis.cz'.

Obrázek 3-33 Prostředí programu Konform.

3.16.2. Autodesk CIVIL-3D

Program Civil 3D je softwarem společnosti Autodesk. Ta se specializuje na programy a software pro tvorbu technických nákrešů i komplexních modelů ve 2D i ve 3D.

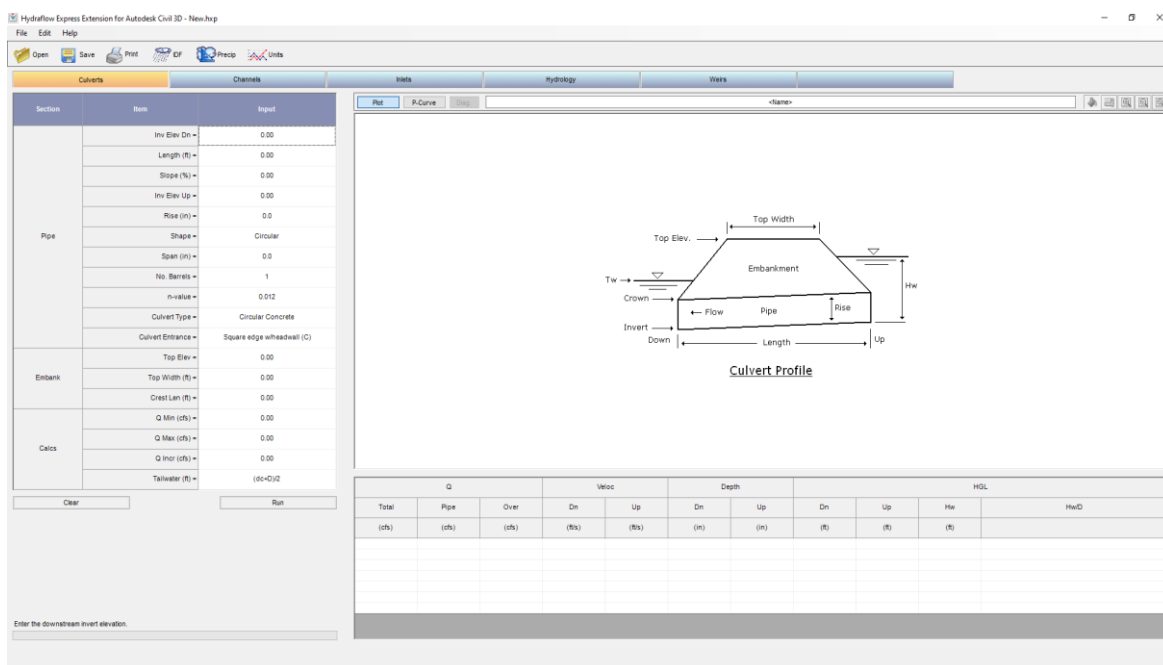
Do programu lze importovat tzv. digitální model terénu, v něm pak zpracovat realistickou projektovou dokumentaci i s návazností na morfologii lokality. Software podporuje platformu BIM (Building Information Modeling), která umožňuje snazší napojení konkrétního projektu na existující infrastrukturu. V programu lze napojit povrch vzniklý zaměřením lokality napojit například na digitální model reliéfu České Republiky 5. Generace. Z těchto dat pak lze určit rozvodnice a velikost povodí, a pro daný uzávěrový profil a zjistit návrhový průtok, ten se použije jako Qdim pro dimenzování propustku.



Obrázek 3-34 Pracovní prostředí programu Civil-3D se situací.

3.16.3. Hydraflow Express

Hydraflow Express je rozšířením programu Civil-3D, která umožňuje zpracovávat hydrologická a hydraulická data. Lze ji využít k návrhu propustků, mostů, koryt a vtoků. Program po zadání vstupních data, která jsou nezbytná pro výpočet, vyhodnotí proděření vody skrz propustek, včetně případného přelivu přes korunu silnice. V české literatuře je často pro popis parametrů proudění používána hodnota hloubka vody a energetická výška v metrech. V zahraniční literatuře a v použitém software jsou tyto hodnoty nahrazeny hodnotami HGL (hydraulic grade line) a EGL (energy grade lane). Jedná se v podstatě o hodnotu hloubky respektive energetické výšky přičtené k nadmořské výšce dna.



Obrázek 3-35 Prostředí aplikace Hydraflow Express.

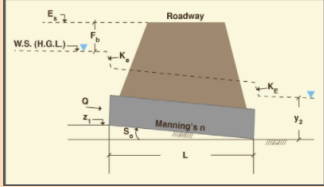
3.16.4. ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop je program společnosti ESRI, patřící do kategorie geografických informačních systémů (GIS), které slouží ke zpracování geografických dat v digitální podobě. Umožňuje široké spektrum využití, podporuje zpracování vektorových i rastrových dat a tvorbu rozsáhlých a navzájem propojených databází. Program je vhodný ke zpracování dat o povodí a morfologie terénu, určení rozvodnic, velikosti povodí a směru toku vody. (Esri)

3.16.5. Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method

Jedná se o veřejně dostupný webový kalkulačtor, který je vhodný pro posouzení hydraulických a konstrukčních parametrů propustku. Výpočty vychází z metodiky použité v (Hydraulic Design of Highway Culverts 2012).

online_culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method



Reference
Hydraulic Design of Highway Culverts, HDS 5, Federal Highway Administration, Third Edition, 2012.

INPUT DATA:
[Description] [Sample input] [HWD Tables]

Units:

[U.S. units] [SI units]

Type of Culvert:

Discharge Q [cfs] (m³/s):

Inlet invert elevation z₁ [ft] (m):

Manning's n:

Bottom slope S₀:

Tailwater depth above outlet invert y₂ [ft] (m):

Culvert length L [ft] (m):

Shoulder elevation E_s [ft] (m):

Freeboard F_b [ft] (m):

Entrance loss coefficient K_c:

Exit loss coefficient K_e:

Your request was processed at 03:24:17 am on February 16th, 2022 [220216 03:24:17].

OUTPUT:

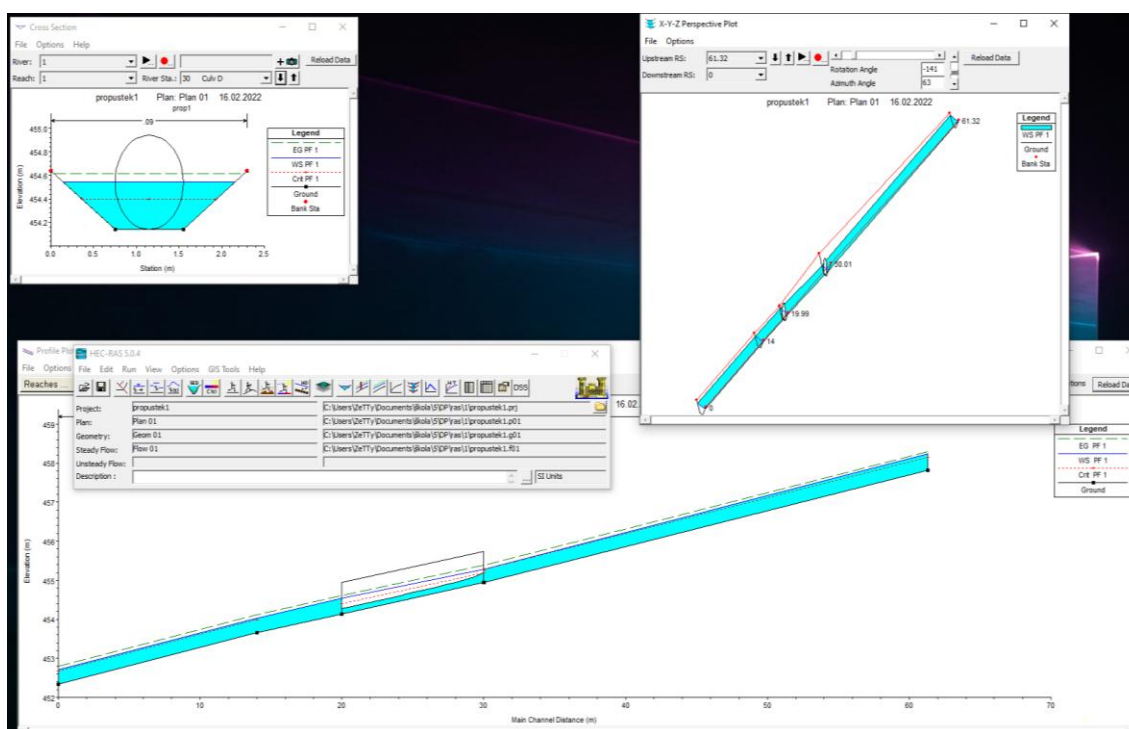
Please enter input data and press 'Calculate'.

Obrázek 3-36 Náhled webové stránky kalkulačtoru FHWA.

Zdroj: <http://uon.sdsu.edu/onlineculvert.php>

3.16.6. HEC-RAS

Program HEC-RAS je volně dostupný ke stažení, je vyvíjen Armádou Spojených států amerických, centrem pro hydrologické inženýrství (Hydrology Engineering Center HEC). Jde o systém analýzy řek (River Analysis System RAS), který umožňuje modelování terénu, nádrží, koryt řek, mostů a propustků. Následně pak jednorozměrnou a dvourozměrnou analýzu proudění vody. Je vhodný pro zjištění směru toku, analýzu oblastí při průchodu povodňových vln, návrh umístění vodních nádrží a odvodnění lokalit. (Hydrology Engineering Center)



Obrázek 3-37 Pracovní prostředí programu HEC-RAS

3.16.7. HydroCAD

V ČR ještě specializované firmy a výzkumné organizace používají např. HydroCAD <https://www.hydrocad.net/>. Vzhledem k tomu, že není volně dostupný (freeware) a že není hromadně využíván, není v této práci podrobně popisován.

3.16.8. KROS 4

KROS 4 je program, který je vyvíjen společností URS CS a.s.. Jedná se o softwaru pro tvorbu, úpravu a prohlížení rozpočtů staveb. Součástí programu je cenová soustava URS, která obsahuje cenové položky pro práce i materiály. S pomocí tohoto programu je možné vytvářet rozpočty pro novostavby, ale i opravy a rekonstrukce stávajících staveb. Cenová soustava je pravidelně aktualizována a umožňuje tak ocenit i nově vyvíjené metody a materiály.

O	P	Úroveň	TC	ČP	TV	Typ položky	Kód položky	Popis	G	MJ	Množství z rozpočtu	% čerp.	Výkon	J. cena indexovaná	Cena celkem	Prostaveno	Prostaveno náklad	Zůstatek
							HSV	Práce a dodávky HSV							101 017,20		0,00	
							1	Zemní práce							101 017,20		0,00	
							122202202	Odkopávky a prokopávky nezapažené pro silnice objemu do 1000 m3 v hornině tř. 3		m3	444,000	20,00	88,800	72,20	6 411,36	0,000	0,00	
							122202209	Příplatek k odkopávkám a prokopávkám pro silnice v hornině tř. 3 za lepištv		m3	144,000	20,00	28,800	20,80	599,04	0,000	0,00	
							130901121	Bourání kóč v hloubených vykopávkách ze zdiva z betonu prostého ručně		m3	12,000	100,00	12,000	6 290,00	75 480,00	0,000	0,00	
							132201101	Hloubení rýh š do 600 mm v hornině tř. 3 objemu do 100 m3		m3	16,800	119,00	19,992	522,00	10 435,82	0,000	0,00	
							132201109	Příplatek za lepištv k hloubení rýh š do 600 mm v hornině tř. 3		m3	16,800	119,00	19,992	148,00	2 958,82	0,000	0,00	
							132201201	Hloubení rýh š do 2000 mm v hornině tř. 3 objemu do 100 m3		m3	36,000	40,00	14,400	335,00	4 824,00	0,000	0,00	
							132201209	Příplatek za lepištv k hloubení rýh š do 2000 mm v hornině tř. 3		m3	36,000	40,00	14,400	21,40	308,16	0,000	0,00	
							133201101	Hloubení šachet v hornině tř. 3 objemu do 100 m3		m3	20,400	0,00	0,000	769,00	0,000	0,00	0,00	
							133201109	Příplatek za lepištv u hloubení šachet v hornině tř. 3		m3	20,400	0,00	0,000	109,00	0,000	0,00	0,00	
							162201101	Vodorovné přemístění do 20 m výkopku/sypání z horniny tř. 1 až 4		m3	146,400	0,00	0,000	28,20	0,000	0,000	0,000	0,00
							162401102	Vodorovné přemístění do 2000 m výkopku/sypání z horniny tř. 1 až 4		m3	76,800	0,00	0,000	95,90	0,000	0,000	0,000	0,00
							162701105	Vodorovné přemístění do 10000 m výkopku/sypání z horniny tř. 1 až 4		m3	444,000	0,00	0,000	254,00	0,000	0,000	0,000	0,00
							162701109	Příplatek k vodorovnému přemístění výkopku/sypání z horniny tř. 1 až 4 20x3 1000 m přes 10000 m		m3	2 220,000	0,00	0,000	19,80	0,000	0,000	0,000	0,00
							162701155	Vodorovné přemístění do 10000 m výkopku/sypání z horniny tř. 5 až 7		m3	12,000	0,00	0,000	328,00	0,000	0,000	0,000	0,00

Aktuální: 101 017,20 **Prostaveno: 0,00** **Zůstatek: 5 790 138,13** **Dodatek: 2 138,64**

Ceník prací Ceník materiálů Materiály online Rozpočet Kalkulace Čerpání Výrobní faktura RUSO

Označení: 0/99 SO2 - Úsek 214 A 100 %

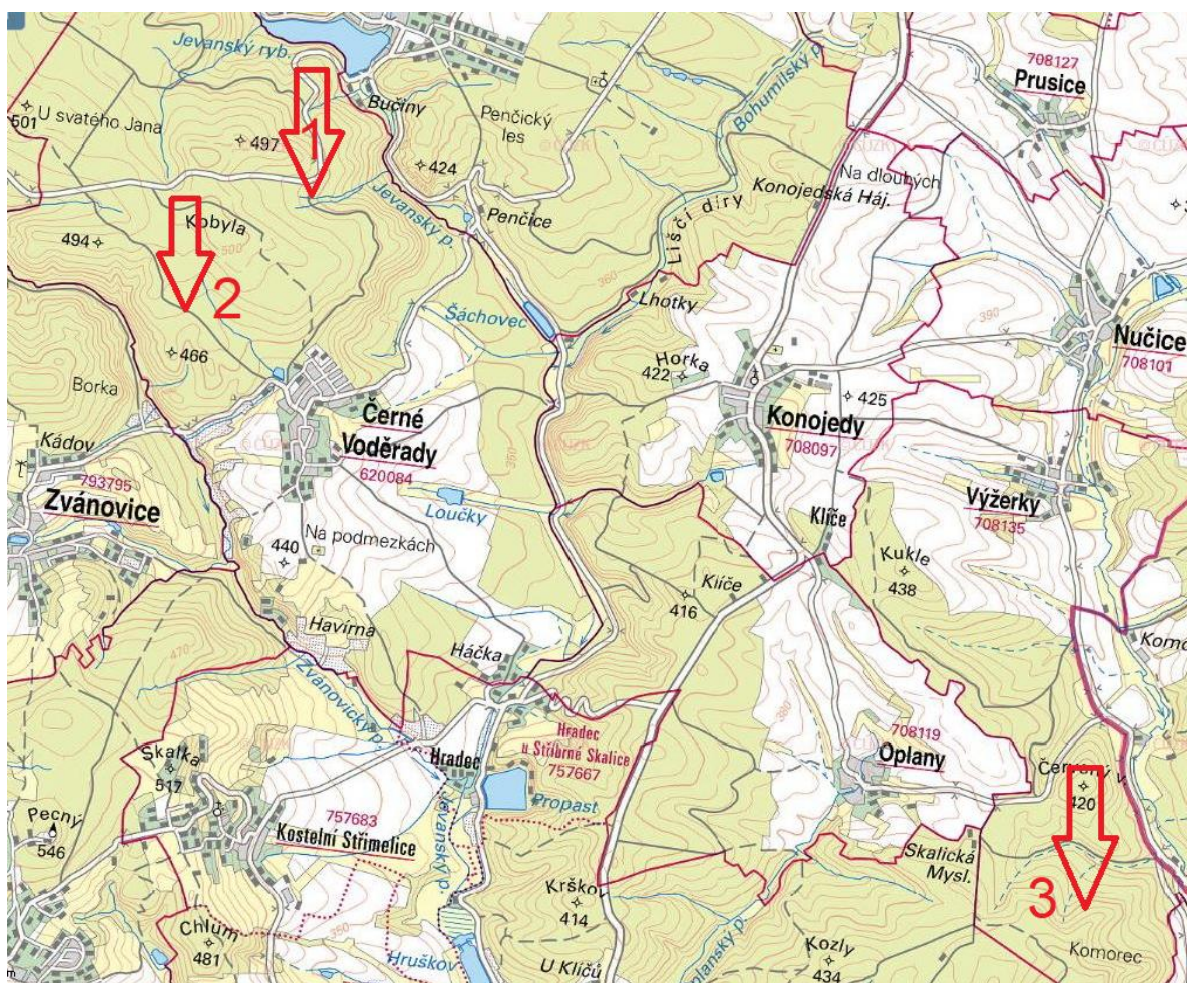
Obrázek 3-38 Pracovní prostředí programu KROS 4. Zdroj:

<https://www.urs.cz/assets/img/01-1583090751.png>

4. Metodika

4.1. Popis lokalit

Všechny lokality se nacházejí na území ŠLP Kostelec nad Černými lesy a jsou ve vlastnictví České zemědělské univerzity v Praze. Povodí na lokalitách je ze sta procent zalesněné a nejedná se o trvalé vodoteče.



Obrázek č. 4-1 Mapa lokalit. Zdroj: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/>

4.1.1. Lokalita č. 1

První lokalita leží v katastrálním území obce Černé Voděrady, parcelní číslo 1193/6. Jedná se o PUPFL, zakmenění na lokalitě má hodnotu 9, porost je v 5. věkovém stupni a s převahou buku. Průměrný sklon povodí je 8 % a jeho rozloha 30.75 hektarů. Propustek je vybaven na obou koncích čelem z lomového kamene a betonovou troubou o průměru 300 mm. Maximální nadmožská výška v povodí je 504.2 m n.m. a uzávěrový profil 454.9 m n.m.



Obrázek č. 4-2 Stávající propustek na lokalitě č. 1.

Zdroj: Vlastní fotodokumentace

4.1.2. Lokalita č. 2

Druhá lokalita leží v katastrálním území obce Černé Voděrady, parcelní číslo 1196/1. Jedná se o PUPFL, zakmenění na lokalitě má hodnotu 7, jde o smrkový porost v 11. věkovém stupni. Průměrný sklon povodí je 6 % a jeho rozloha 13.35 hektarů. Propustek je vybaven na obou koncích zděným čelem a betonovou troubou o průměru 400 mm. Maximální nadmořská výška v povodí je 529.1 m n.m. a uzávěrový profil 431.1 m n.m.



Obrázek č. 4-3 Stávající propustek na lokalitě č. 2.

Zdroj: Vlastní fotodokumentace

4.1.3. Lokalita č. 3

Třetí lokalita leží v katastrálním území obce Výžerky, parcelní číslo 308/5. Jedná se o PUPFL, zakmenění na lokalitě má hodnotu 7, jde o bukový porost v 8. věkovém stupni. Průměrný sklon povodí je 13.5 % a jeho rozloha 13.35 hektarů. Propustek je vybaven na obou koncích zděným čelem a betonovou troubou o průměru 400 mm. Maximální nadmořská výška v povodí je 446.5 m n.m. a uzávěrový profil 411.5 m n.m.

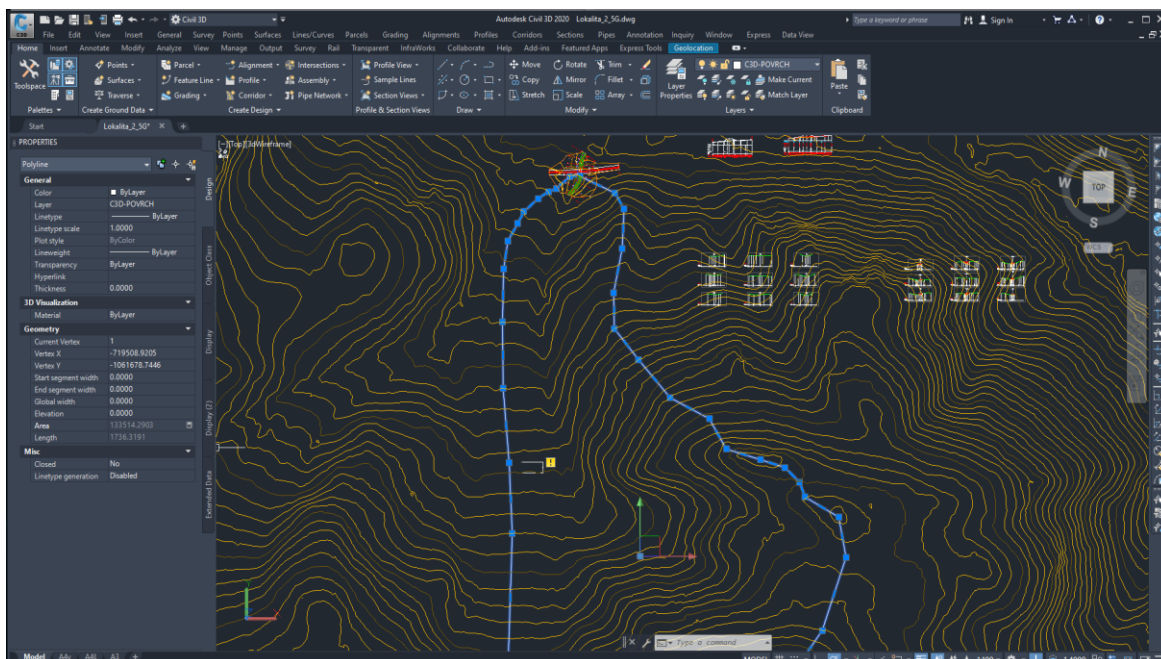


Obrázek č. 4-4 Stávající propustek na lokalitě č 3.

Zdroj: Vlastní fotodokumentace

4.2. Výpočet návrhového průtoku

Pro výpočet návrhového průtoku propustků byla použita zjednodušená metoda modelového deště dle ČSN 73 6201, viz kapitola (3.11.2.). Pro všechny lokality byla uvažována intenzita modelového deště $217 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. (ČSN 75 9010) Součinitel odtoku byl na základě sklonu zvolen ve všech případech 0,1. Pro výpočet plochy povodí byl použit program Civil-3D, ve kterém byla sestrojena rozvodnice pro každou lokalitu. Pro terénní podklad byl použit digitální model reliéfu páté generace.



Obrázek 4-5 Sestrojená rozvodnice pro jedu z lokalit v programu Civil-3D.

4.3. Posouzení stávajících objektů

Stávající objekty byly posouzeny zjednodušeným výpočtem dle vzorce (3.17), jelikož se jedná o betonový propustek kruhového tvaru. Při této metodě výpočtu jde pouze o orientační kapacitu propustku, kde nedochází k podrobnějšímu řešení průběhu hladiny a vzduť vody před propustkem. Nelze tak ověřit volnou hladinu a podmínku nezatopeného vtoku.

Tento způsob výpočtu je dostatečný, jelikož na prvních dvou lokalitách je objekt výrazně nedostačující. Na lokalitě třetí je naopak průtok tak nízký, že určujícím parametrem dimenzace propustku bude minimální přípustný rozměr z pohledu legislativy a požadavků na údržbu.

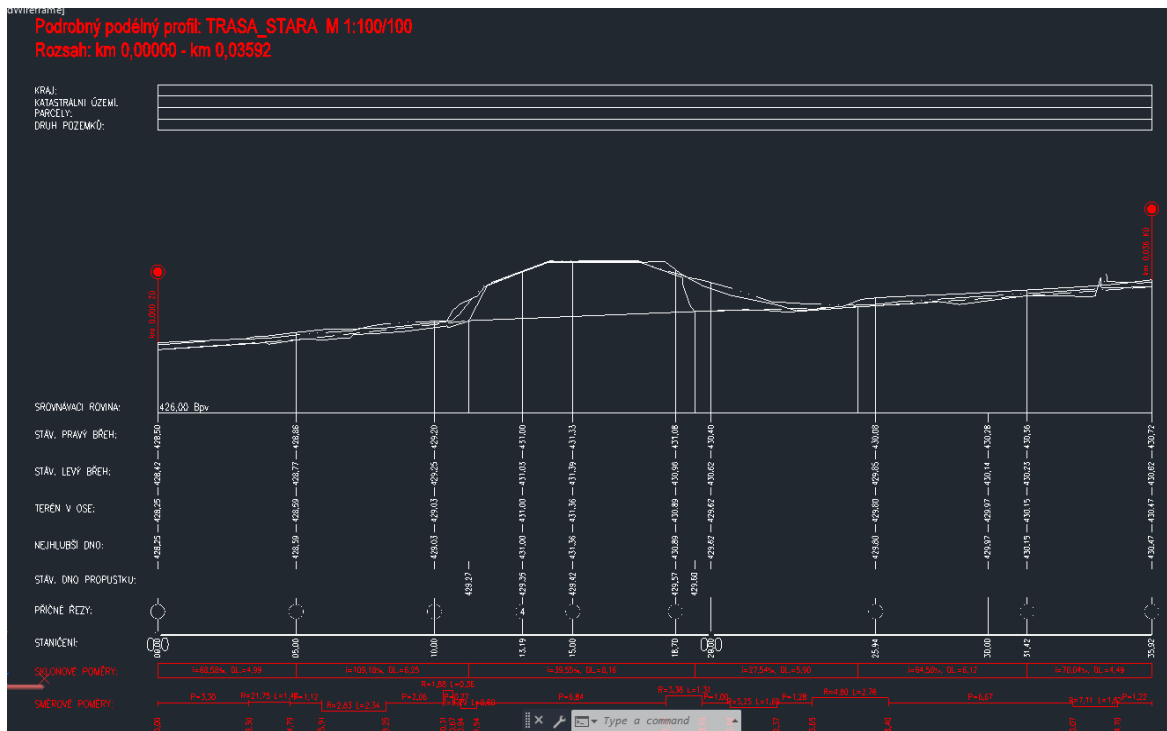
Lokalita	Sklon i %	Průměr d m	Drsnost n
1	8	0,3	0,013
2	4	0,3	0,013
3	15	0,3	0,013

Tabulka 4-1 Parametry současných objektů pro výpočet kapacitního průtoku.

Lokalita	Požadovaný průtok Q_{dim} m_3s^{-1}	Kapacitní průtok stávajících objektů m_3s^{-1}
1	0,667	0,277
2	0,290	0,194
3	0,018	0,375

Tabulka 4-2 Porovnání průtoků současných objektů s požadovanými hodnotami.

Parametry stávajících objektů byly zjištěny terénním průzkumem, sklon propustků byl geodeticky zaměřen při tvorbě terénních podkladů pro lokalitu a spočítán v programu Civil-3D.



Obrázek 4-6 Podélný profil stávajícího objektu a koryta se sklony v programu Civil-3D.

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)
1	0.00m	428.25m		6.86%	
2	4.99m	428.59m	6.86%	10.92%	4.06%
3	11.24m	429.27m	10.92%	3.96%	6.96%
4	19.40m	429.60m	3.96%	2.75%	1.20%
5	25.30m	429.76m	2.75%	6.45%	3.70%
6	31.43m	430.15m	6.45%	7.00%	0.55%
7	35.92m	430.47m	7.00%		

Obrázek 4-7 Editor geometrie v programu Civil-3D s hodnotami podélného sklonu trasy.

4.4. Návrh nových objektů

4.4.1. Návrh konstrukčního řešení

Konstrukční řešení se vychází z faktu, že se nejedná o propustky na toku s trvalým průtokem, a součástí tedy není návrh konstrukčního řešení koryta nad a pod objektem. Tak tomu je jen na vodotečích s trvalým průtokem. Návrh tedy zahrnuje pouze konstrukční řešení samotného propustku a návrh spadiště pod propustkem, které zajišťuje přechod na proudění shodné s korytem před propustkem. Parametry proudění v korytě nad a pod propustkem jsou pouze přibližně odhadnuty v modelovém korytě, přibližně reprezentujícím skutečné koryto. Tyto parametry jsou potřebné pro stanovení vzdutí hladiny objektem a výpočtu délky spadiště.

Pro návrh propustků jsou vybrány tři materiály, které se navzájem liší hydraulickými vlastnostmi, objemem zemních prací, a také cenou. Uvažované materiály jsou tři nejdostupnější a nejčastěji používané. Jedná se o betonové a ocelové trouby a korugované trouby z plastu. Jejich rozdíly v hydraulických vlastnostech jsou ve výpočtech zohledněny hodnotou Manningova součinitele drsnosti n .

Materiál	Beton	Ocel	Plast
n	0,013	0,010	0,009

Tabulka 4-3 Hodnoty Manningova součinitele drsnosti pro různé materiály trub.

Návrh sklonu jednotlivých propustků se vycházel z morfologie terénu, kdy bylo zásadní, aby rychlost proudění nepřesáhla kritickou mez pro daný materiál. U lokality č. 3 dosahoval podélný sklon 15%, pro zmenšení rozsahu zemních prací bylo nutné využít vtokové jímky před propustkem, která zajistila snížení podélného sklonu na hodnotu 8%. U ostatních lokalit podélný sklon nepřekročil 8%, rychlost proudění na konci propustku tak byla u všech lokalit pod hodnotou 5 ms^{-1} .

Lokalita	1	2	3
Sklon i %	8	3	8

Tabulka 4-4 Návrhové hodnoty sklonu dna propustku na jednotlivých lokalitách.

Návrh délky spadiště pod propustkem vychází z energie na jeho konci, která závisí na materiálu propustku a jeho sklonu. Tuto energii je třeba utlumit na hodnoty nepoškozující koryto. Postup stanovení potřebné délky je popsán v kapitole (3.10.3).

4.4.2. Zvolený režim proudění propustkem

Pro řešení propustků je přednostně volen režim proudění o volné hladině s nezatopeným vtokem. Jedná se o hydraulicky nejstabilnější režim proudění. Nedochozí k pulzování hladiny o strop propustku jako při tlakovém proudění. Zároveň dojde k určitému naddimenzování světlosti, což je vhodné vzhledem k lepší průchodnosti propustku pro případně se vyskytující splávi.

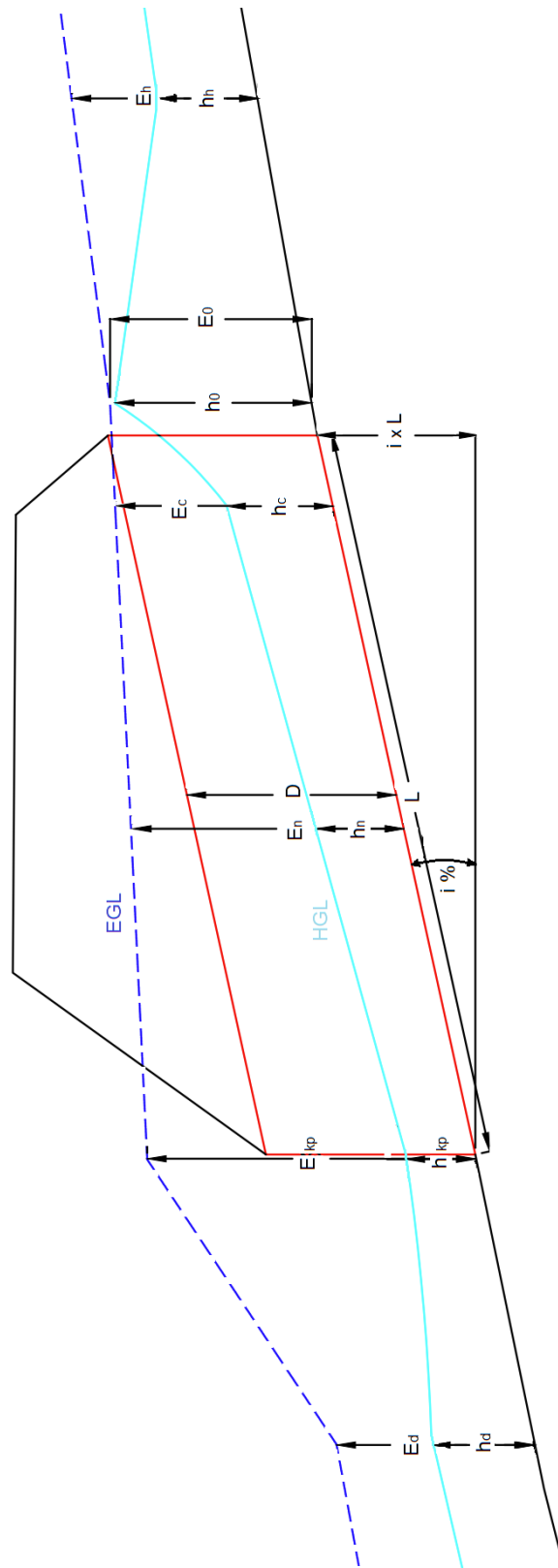
4.4.3. Hydraulické posouzení

Navrhovaný průměr propustku vycházel z platné legislativy, kdy minimální přípustný průměr propustku na lesních cestách je 510 mm. Druhým kritériem bylo hydraulické posouzení minimálního průměru s ohledem na návrhový průtok. Pro zjištění minimálního přípustného průměru propustku lze využít rovnici (3.20). Následně se pak zvolí nejbližší vyšší vyráběný průměr. Pro zajištění proudění o volné hladině lze kapacitní průtok zjištěný tímto způsobem redukovat hodnotou 0,915. (TD LDS)

Při konkrétním posuzování daného propustku se podmínky výskytu volné hladiny ověří dle rovnic (3.1) pro kapacitní průtok a (3.23) pro minimální sklon. Pro zajištění podmínky nezatopeného vtoku, porovnání výsledků ze softwaru a vlastní hodnocení vlivu jednotlivých materiálů propustku je nutné provést podrobnější hydraulické posouzení propustků. Pro zjištění podmínek na vtoku do propustku je nutné stanovit zúženou hloubku za vtokem a následně dopočítat energetický profil a výšku vzduté vody před propustkem. Tu následně porovnáme se světlou výškou propustku upravenou koeficientem zatopení podle (tabulky 3-1) dle rovnice (3.5).

Stanovení průběhu hladiny a podmínek na výtoku z propustku se provede za využití Bernoulliho rovnice (3.24) pro dva sousední profily. První profil je v místě známé výšky h_c , která se vytvoří v důsledku kontrakce proudu za vtokem, další pak navazují po jednom metru, poslední leží na konci propustku. Tímto postupem získáme potřebné hodnoty pro porovnání vlivu materiálu propustku, jeho sklonu, průměru a pro srovnání řešením z programů umožňujících hydraulické posouzení propustků. V případě použití vtokové jímky je třeba tuto posoudit zvlášť dle kapitoly (3.10.1).

Pro porovnání byl použit program MS Excel, kde byl spočten první profil za vtokem do propustku. Následně byl změnou hodnoty výšky h_n iteračním způsobem dopočítán profil následující. Výška byla měněna do okamžiku, kdy se obě strany rovnice (3.24) navzájem vyrovnaly.



Obrázek 4-8 Schematické zobrazení jednotlivých parametrů proudění a použitých zkratk.

4.5. Hodnocení vlivu materiálu propustku

4.5.1. Hodnocení vlivu materiálu na proudění propustkem

Z výsledků předchozího kroku lze také dopočítat energetickou výšku profilu na konci propustku. Energetická výška profilu na konci propustku je jedním z hlavních ukazatelů pro porovnávání jednotlivých materiálů. Vyjadřuje vliv materiálu na proudění propustkem, kdy drsnější materiál způsobí snížení rychlosti při zvětšení hloubky a průtočné plochy. Do konstrukčního řešení propustku se tato hodnota promítne především v potřebě tlumení rozdílného množství energie před přechodem vody ze spadiště do koryta pod propustkem. Od toho se bude odvíjet potřebná délka a úprava spadiště.

Porovnání materiálu propustku bude spočívat v porovnání vlivu materiálu na režim proudění propustkem. Navazuje plynule na posouzení průběhu hladiny v propustku. Tento vliv bude porovnán pomocí hodnoty energetické výšky průtočného profilu na konci propustku. Energetická výška je při proudění o volné hladině určena přičtením rychlostní výšky k výšce hladiny, vzorec (4.1).

$$E_{kp} = \frac{h_{kp} + \alpha + v_2^2}{2 \times g} \quad (4.1)$$

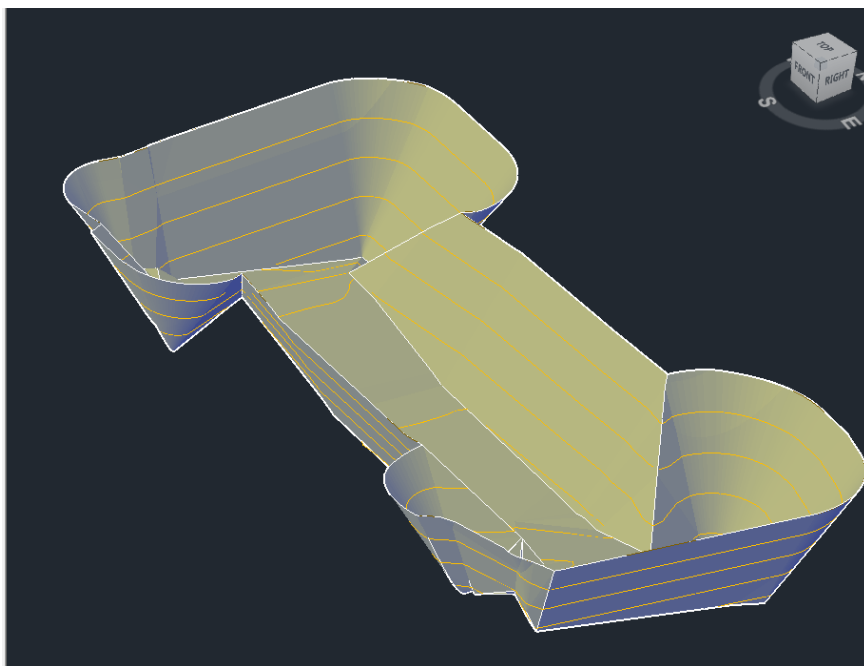
Kde: E_{kp} = energetická výška profilu na konci propustku.

4.5.2. Hodnocení vlivu materiálu na náklady na vybudování propustku

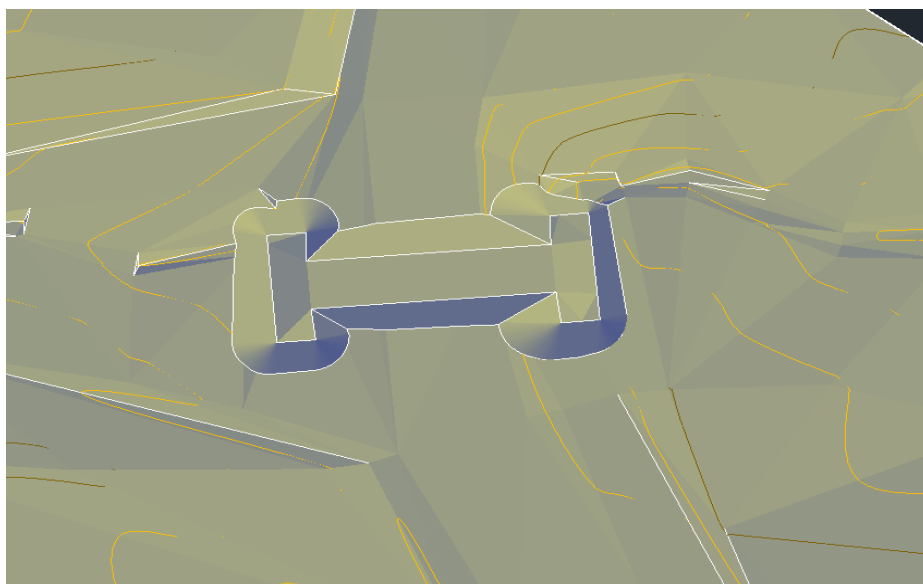
Dalším aspektem bude porovnání nákladů na vybudování daného propustku, kdy bude zjištěno, který materiál je nejvýhodnější. Hydraulické vlastnosti mohou ovlivnit cenu propustku například potřebou delšího spadiště.

Důležité jsou také různé rozměrové varianty trub z jednotlivých materiálů, kdy jedna varianta může vyžadovat jiný rozsah zemních prací. Rozpočet bude stanoven pomocí softwaru KROS 4 a cenové soustavy ÚRS 2021/II. Podklady pro stanovení rozpočtu vycházejí z navrhovaných rozměrů propustku, hydraulického posouzení a z objemu zemních prací. Rozsah zemních prací, tedy především objem výkopu, je stanoven pomocí digitálního modelu (DMT) vytvořeného v programu CIVIL-3D.

Zde je pro výkop sestaveno zemní těleso s povrchem, který je následně porovnán se stávajícím povrchem zaměřeným v terénu, viz (obr. 4-6). Od celkového objemu výkopu je odečten objem vrstev lesní cesty, který je odstraněn zvlášť. Hloubka výkopu v jednotlivých bodech je zjištěna odečtením tloušťky stěny trouby a tloušťky lože od nivelety dna. Svah stěn výkopu je vede v poměru 1:0.6 do chvíle, než se protne se stávajícím terénem.



Obrázek 4-9 Povrch zemního tělesa výkopu.



Obrázek 4-10 Povrch zemního tělesa výkopu v terénu.

4.6. Hydraulické posouzení propustků pomocí software

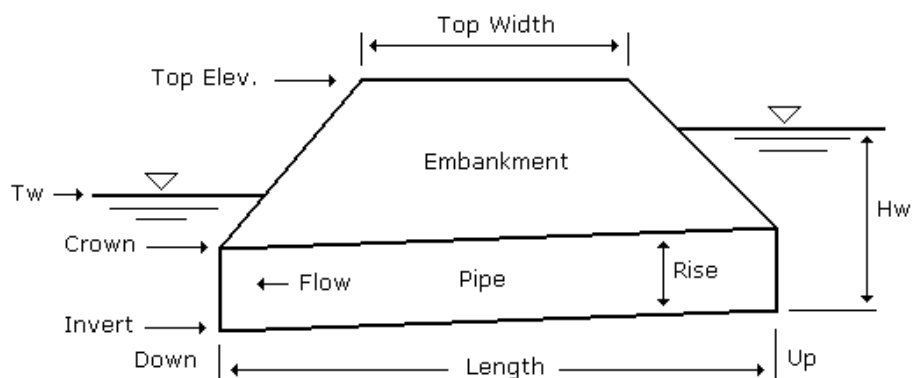
4.6.1. Hydraflow Express

Program Hydraflow Express je jednoduchý a uživatelsky přívětivý. Pro výpočet stačí pouze vyplnit požadované parametry propustku a program vypočte průběh hladin při daném průtoku, a to včetně přelivu přes korunu lesní cesty. Některé parametry je možné nechat dopočítat nebo je manuálně zvolit. Mezi vkládané parametry patří průměr propustku, délka, podélný sklon, tvar, hydraulická drsnost a počet trub. Protože program nepočítá kapacitní průtok, ale naopak zjišťuje parametry proudění při daném průtoku, je třeba průtok zadat. Pro případ přelivu přes cestu je potřeba zadat také nadmožské výšky hlavních bodů, jako koruna cesty a dno před i za propustkem. Program nebere v potaz parametry proudění před propustkem, výška vzduť je zde závislá pouze na typu úpravy vtoku.

Culverts		Channels
Section	Item	Input
Pipe	Inv Elev Dn =	1.0000
	Length (m) =	10.0000
	Slope (%) =	8.0000
	Inv Elev Up =	1.8000
	Rise (mm) =	800.0
	Shape =	Circular
	Span (mm) =	800.0
	No. Barrels =	1
	n-value =	0.013
	Culvert Type =	Circular Concrete
Culvert Entrance =	Square edge w/headwall (C)	
Embank	Top Elev =	3.0000
	Top Width (m) =	2.5000
	Crest Len (m) =	0.0000
Calcs	Q Min (cms) =	0.6670
	Q Max (cms) =	0.6670
	Q Incr (cms) =	0.0283
	Tailwater (m) =	0.00

Clear Run

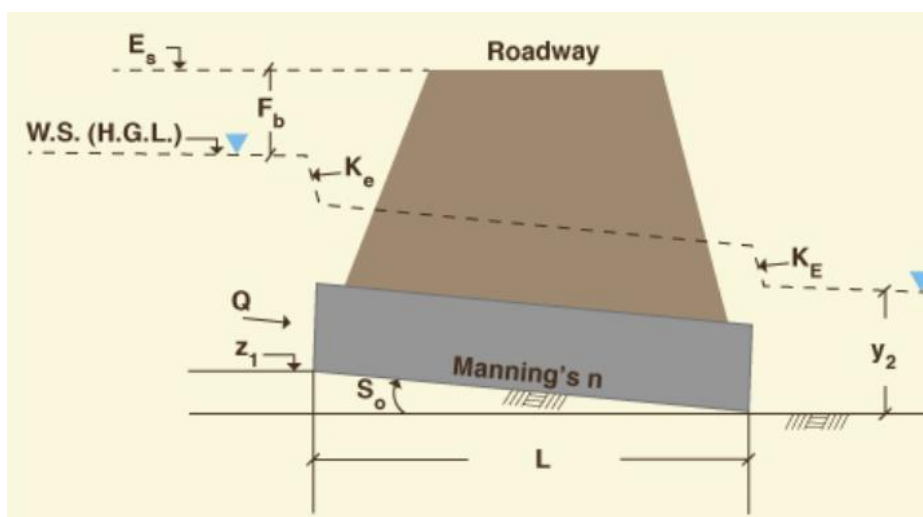
Obrázek 4-11 Vyplněné vstupní parametry v programu Hydraflow Express.



Obrázek 4-12 Schematický obrázek vstupních parametrů. Program Hydraflow Express

4.6.2. Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method

Tento webový kalkulátor propustku je v mnoha ohledech podobný předchozí metodě z hlediska použití. Uživatel pouze vyplní všechny požadované parametry, následně jsou spočteny parametry a typ proudění propustkem, přičemž je použito dělení na Inlet a Outlet control, viz kapitola (3.3.3.) Na rozdíl od předchozí metody zde nevolíme průměr propustku, ale kalkulátor spočítá minimální vhodný průměr. Pro výpočet je nutné znát hloubku vody (HGL) v profilu před propustkem, oproti programu Hydraflow Express jsou zde tedy zohledněny parametry proudění před propustkem. Omezení této metody spočívá ještě v minimální hodnotě manningova drsnostního součinitele, která je $n = 0,013$. Lze tak posuzovat pouze betonové propustky.



Obrázek 4-13 Schematický obrázek vstupních parametrů. Kalkulátor online culvert

FHWA Zdroj: <http://uon.sdsu.edu/onlineculvert.php>

INPUT DATA:

[Description] [Sample input] [HW/D Tables]

Units:

[U.S. units] (SI units)

Type of Culvert:

Discharge Q [cfs] (m^3/s): $m^3 s^{-1}$

Inlet invert elevation z_1 [ft] (m): m

Manning's n :

Bottom slope S_o :

Tailwater depth above outlet invert y_2 [ft] (m): m

Culvert length L [ft] (m): m

Shoulder elevation E_s [ft] (m): m

Freeboard F_b [ft] (m): m

Entrance loss coefficient K_e :

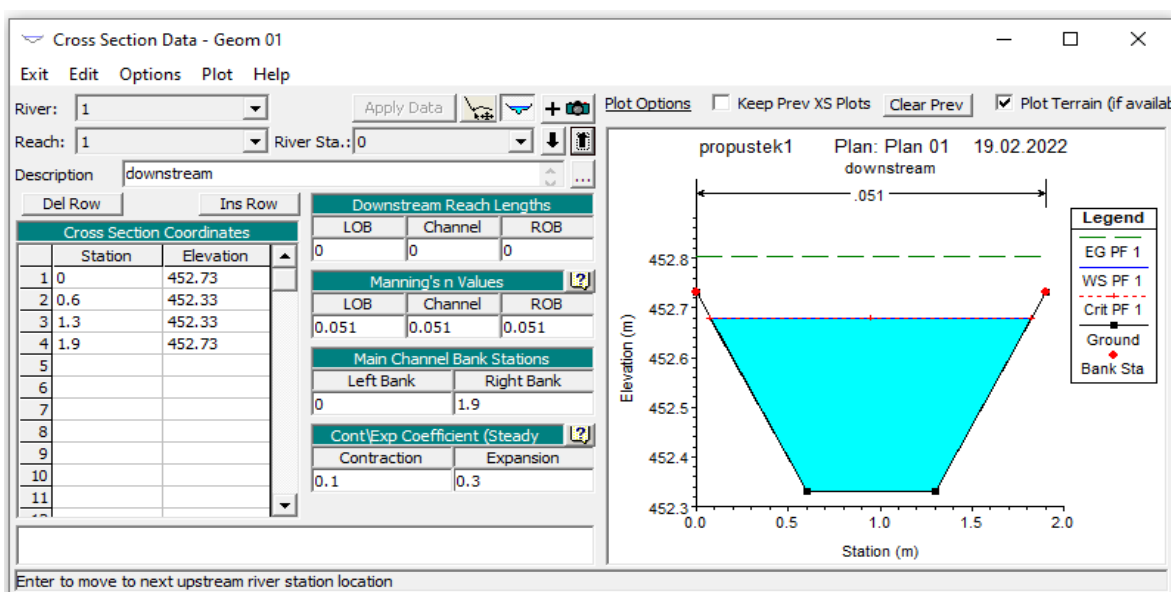
Exit loss coefficient K_E :

Obrázek 4-14 Vyplněné vstupní parametry online kalkulátoru online culvert FHWA.

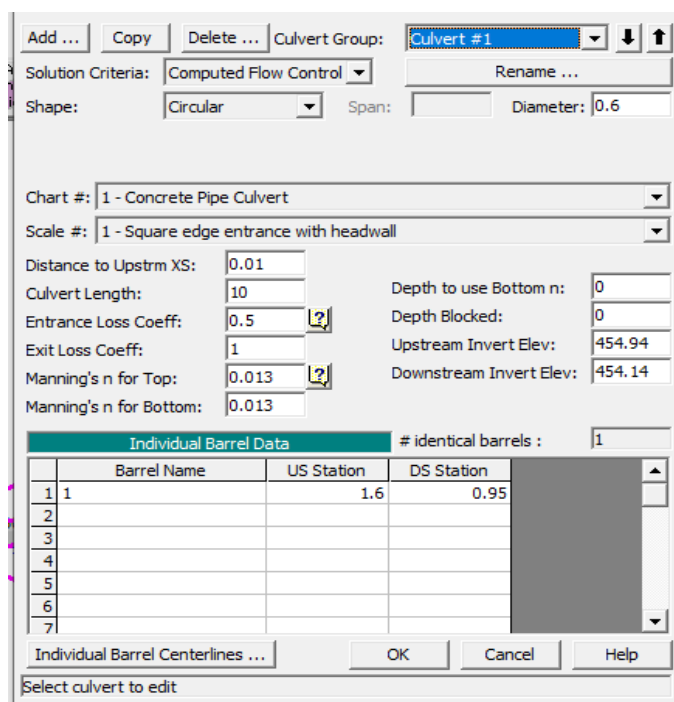
Zdroj: <http://uon.sdsu.edu/onlineculvert.php>

4.6.3. HEC-RAS

Software HEC-RAS je komplexním řešením, jehož možnosti využití sahají daleko za rozsah této práce. Pro její účely bylo v programu namodelováno vzorové koryto, které má parametry shodné s korytem navrhovaným. Do trasy koryta je poté vložen propustek s danými rozměry, konstrukcí a materiálem, respektive hydraulickou drsností. Program pak dopočte profil proudění, ze kterého lze určit průběh hladiny.



Obrázek 4-15 Parametry příčného řezu koryta v programu HecRas.



Obrázek 4-16 Parametry propustku v Programu HecRas

5. Výsledky

5.1. Výpočet návrhového průtoku

Pro výpočet návrhového průtoku propustků byla použita zjednodušená metoda modelového deště dle ČSN 73 6201, viz kapitola (3.11.2.). Pro všechny lokality byla uvažována intenzita modelového deště $217 \text{ ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$. (ČSN 75 9010) Součinitel odtoku byl na základě sklonu zvolen ve všech případech 0,1.

Lokalita	Intenzita deště	Součinitel odtoku	Plocha povodí ha	Qdim ls^{-1}	Qdim m_3s^{-1}
1	217	0,1	30,75	667,3	0,667
2	217	0,1	13,35	289,7	0,290
3	217	0,1	0,81	17,6	0,018

Tabulka 5-1 Parametry návrhového průtoku pro jednotlivé lokality.

5.2. Posouzení stávajících objektů

Hodnota návrhového průtoku byla stanovena zjednodušenou metodou modelového deště, jelikož se jedná o propustky na lesní cestě bez trvalého průtoku. Parametry propustku byly zjištěny při terénním šetření na lokalitách. Velikost povodí propustku byla stanovena v programu Civil-3D. Kapacitní průtok stávajících propustků byl zjištěn zjednodušeným výpočtem (3.17) pro betonové propustky kruhového tvaru. Režim proudění propustkem nebyl dále řešen.



Obrázek 5-1 Fotografie stávajícího objektu na lokalitě č.1.

Zdroj: Vlastní fotodokumentace

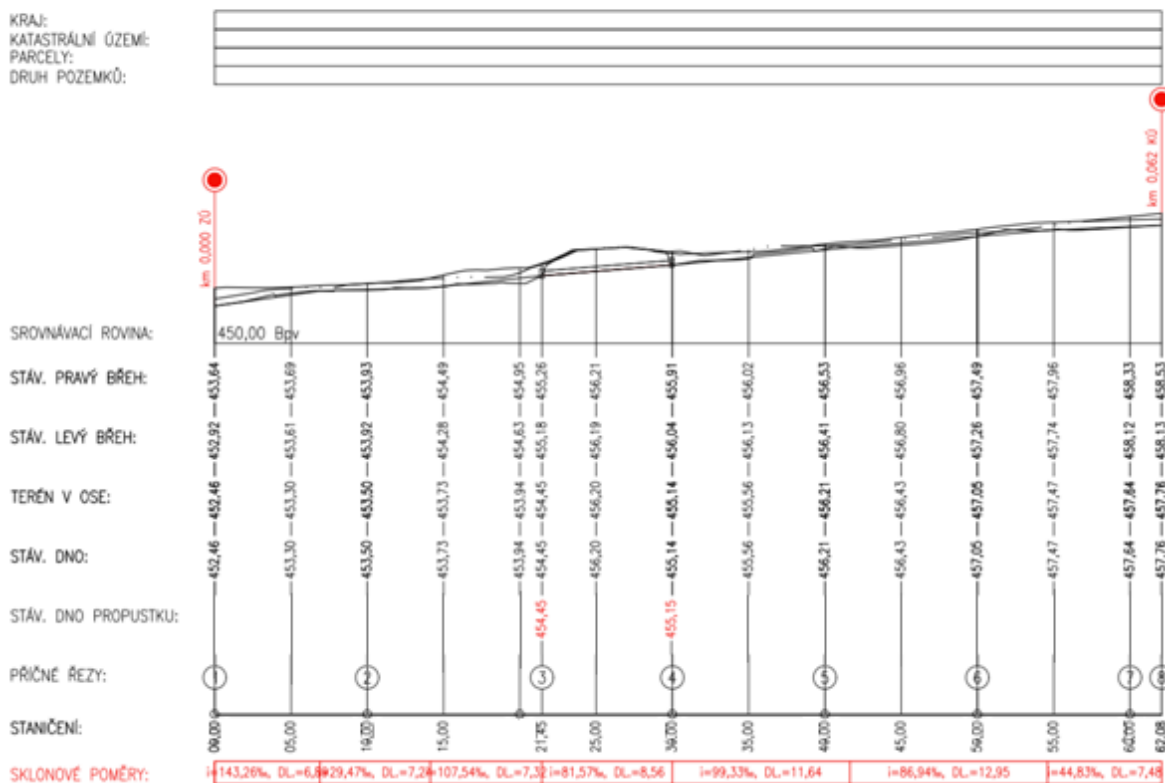
5.2.1. Lokalita 1

Posouzením propustku na 1. lokalitě bylo zjištěno, že rozměr propustku je výrazně nedostatečný pro převedení zjištěného návrhového průtoku. Posouzení hydrologických a hydraulických parametrů první lokality jsou vedeny v tabulce (5-2)

Průměr (m)	Sklon (%)	Kapacitní průtok (m_3s^{-1})	Velikost povodí (ha)	Intenzita návrhového deště ($ls^{-1}ha^{-1}$)	koefficient odtoku	Návrhový průtok Q_{dim} (m_3s^{-1})
0.3	8%	0.27651	30.75	217	0.1	0.6673

Tabulka 5-2 Parametry stávajícího propustku na lokalitě č.1.

Podrobný podélný profil: TRASA_1_STARA M 1:200/200
Rozsah: km 0,00000 - km 0,06208



Obrázek 5-2 Podélný profil stávající trasy na lokalitě č.1.

5.2.2. Lokalita 2

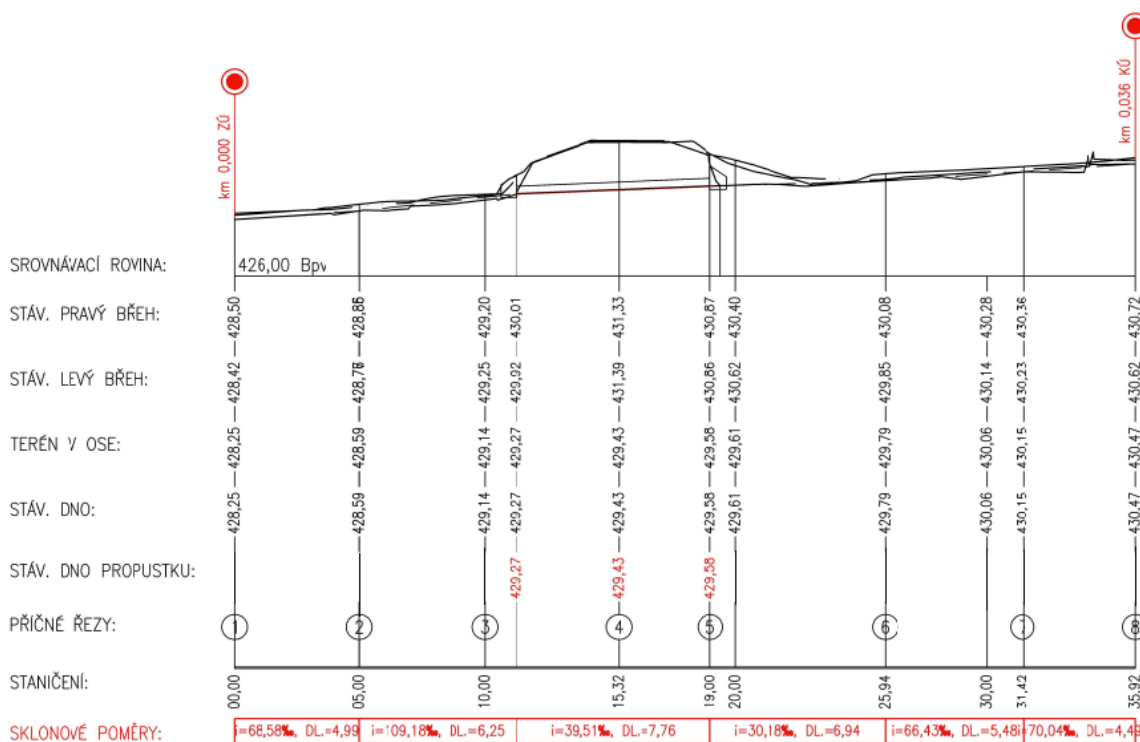
Posouzením propustku na 2. lokalitě bylo zjištěno, že rozměr propustku je dostatečný pro převedení zjištěného návrhového průtoku. Rezerva je velmi vysoká, kdy kapacitní průtok je téměř dvojnásobný, proto ani zde nemá smysl dále řešit režim proudění. Posouzení hydrologických a hydraulických parametrů první lokality jsou vedeny v tabulce (5-3)

Průměr (m)	Sklon (%)	Kapacitní průtok (m_3s^{-1})	Velikost povodí (ha)	Intenzita návrhového deště ($ls^{-1}ha^{-1}$)	koeficient odtoku	Návrhový průtok Q_{dim} (m_3s^{-1})
0.4	4%	0.417	13.35	217	0.1	0.290

Tabulka 5-3 Parametry stávajícího propustku na lokalitě č.2.

Podrobný podélný profil: TRASA_2_STARA M 1:200/200 Rozsah: km 0,00000 - km 0,03592

KRAJ:
KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ:
PARCELY:
DRUH POZEMKŮ:



Obrázek 5-3 Podélný profil stávající trasy na lokalitě č. 2.

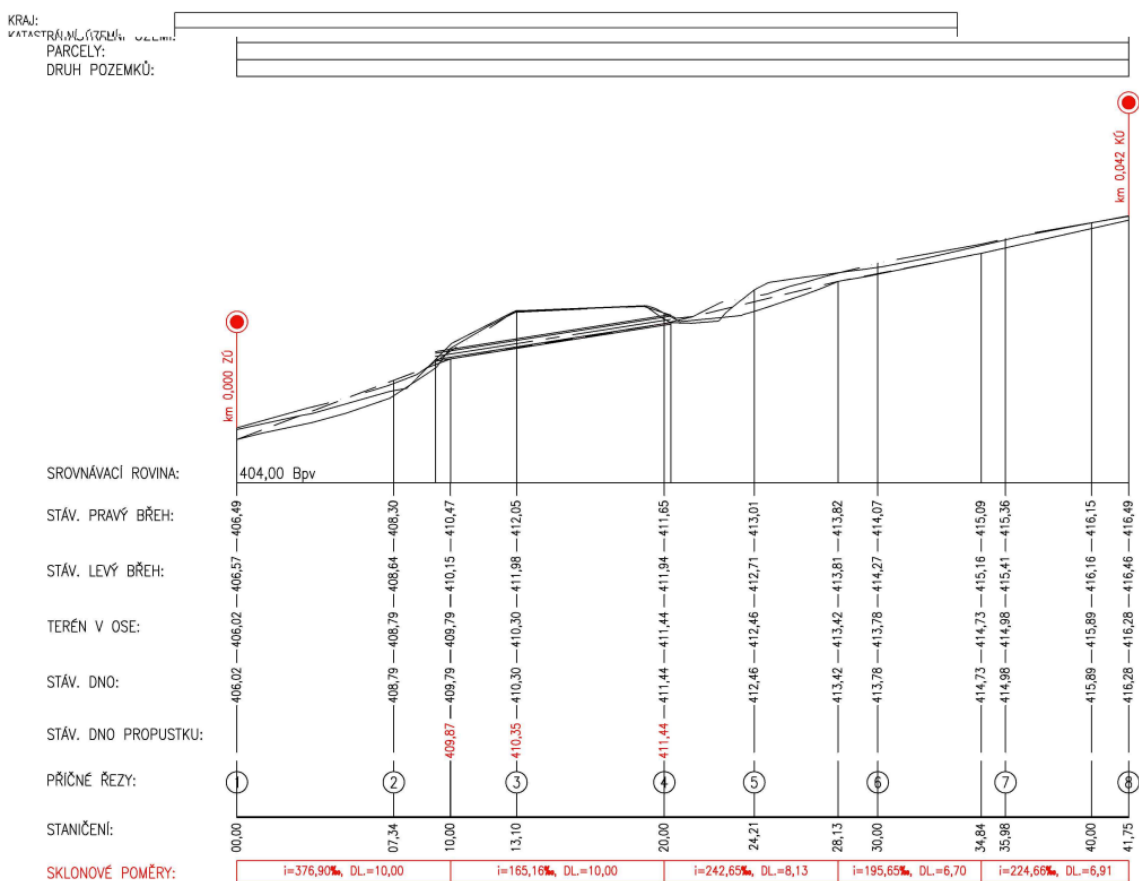
5.2.3. Lokalita 3

Opačný případ nastal na lokalitě č. 3, kde byl naopak návrhový průtok tak nízký v důsledku malého povodí. Z tohoto důvodu byl rozměr propustku nepodstatný s ohledem na požadovaný průtok. Posouzení hydrologických a hydraulických parametrů první lokality jsou vedeny v tabulce (5-4). V důsledku vysokého sklonu docházelo ke značné erozi koryta na straně výtoku z propustku.

Průměr (m)	Sklon (%)	Kapacitní průtok (m_3s^{-1})	Velikost povodí (ha)	Intenzita návrhového deště ($ls^{-1}ha^{-1}$)	koeficient odtoku	Návrhový průtok Q_{dim} (m_3s^{-1})
0.3	16%	0.387	0.81	217	0.1	0.018

Tabulka 5-4 Parametry stávajícího propustku na lokalitě č.3.

Podrobný podélný profil: TRASA_3_STARA M 1:200/200
Rozsah: km 0,00000 - km 0,04175



Obrázek 5-4 Podélný profil stávající trasy na lokalitě č. 3.

5.3. Návrh nových objektů

Návrh nového objektu musí odpovídat platné legislativě, požadavkům na převedení návrhového průtoku a rozměry a materiál by měli vycházet z běžně dostupných řešení.

5.3.1. Lokalita 1

Pro převedení návrhového průtoku na lokalitě č. 1 je při použití vzorce (3.20) zapotřebí propustek o průměru minimálně 458 mm. Tato hodnota zajišťuje proudění o volné hladině tak, že byl kapacitní průtok redukován hodnotou 0.915. Propustek tohoto rozměru však neodpovídá požadavkům platné legislativy na minimální průměr. Zároveň tento výpočet nijak neřeší podmínku nezatopeného vtoku a ani nedovoluje porovnání vlivu jednotlivých materiálů trouby. Tyto aspekty je třeba posoudit podrobnějším výpočtem. Podmínku nezatopeného vtoku zajistíme dle rovnice (3.5), dosazením vzduuté hladiny h_0 .

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Minimální rozměr v (mm) pro převedení návrhového průtoku	458		
Minimální vyráběný rozměr v (mm) odpovídající platné legislativě	600	600	600
Navrhovaný vyráběný rozměr v (mm) při zajištění nezatopeného vtoku	800/ 600*	800/ 600*	800/ 600*

Tabulka 5-5 Porovnání minimálního průměru propustku na lokalitě č.1 dle různých kritérií.

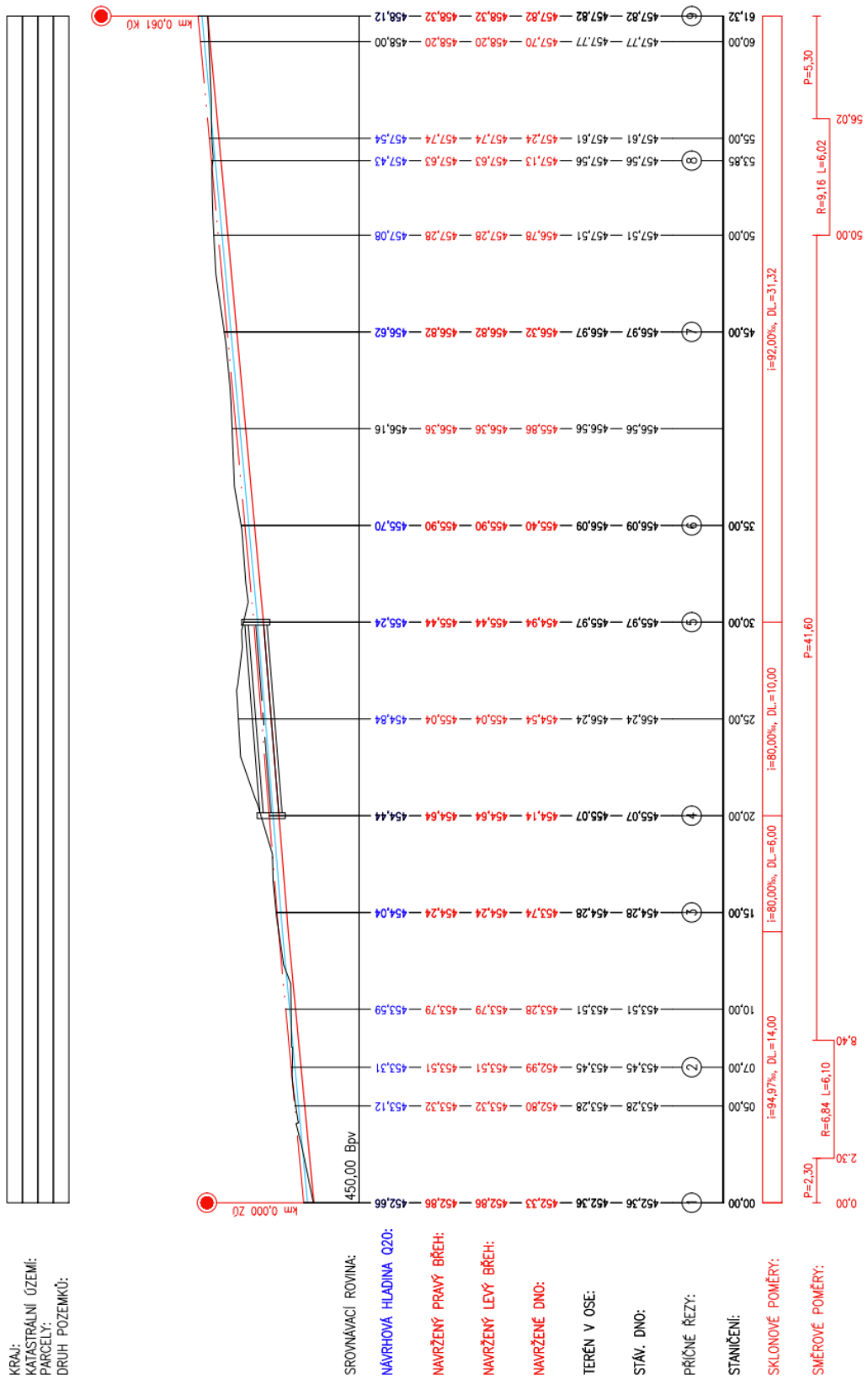
* lze použít za předpokladu zvýšení účinnosti použitím úpravy vtoku.

Navržený průměr propustku je tedy 800 mm pro všechny materiály, ostatní parametry propustku jsou uvedeny v tabulce 5-6. Propustek bude osazen v rýze o šíři 1.65 m a sklonu svahů 1:0.6. Jako lože bude sloužit vrstva stěrkočrti o mocnosti 0.25 m. Propustek bude osazen čely o šíři 4.4 m, výšce 2.5 m a tloušťce 0.6 m.

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Průměr	800(mm)	800(mm)	800(mm)
Délka	10 (m)		
Sklon	8 (%)		
Typ vtoku	1		
Součinitel zatopení	1.2		
Rychlostní součinitel	0.85		
Součinitel výškového zúžení	0.9		
Vzdutá hladina pře objektem	0.82 (m)		
Manningův součinitel drsnosti	0.013	0.011	0.09

Tabulka 5-6 Parametry propustku na lokalitě č.1.

Podrobný podélný profil: TRASA_1_NOVA M 1:200/200
Rozsah: km 0,00000 - km 0,06132



Obrázek 5-5 Podélný profil nové trasy na lokalitě č. 1.

5.3.2. Lokalita 2

Pro převedení návrhového průtoku na lokalitě č. 2 je při použití vzorce (3.20) zapotřebí propustek o průměru minimálně 382 mm. Tato hodnota zajišťuje proudění o volné hladině tak, že kapacitní průtok byl redukován hodnotou 0.915. Propustek tohoto rozměru však neodpovídá požadavkům platné legislativy na minimální průměr. Zároveň tento výpočet nijak neřeší podmínku nezatopeného vtoku a ani nedovoluje porovnání vlivu jednotlivých materiálů trouby. Tyto aspekty je třeba posoudit podrobnějším výpočtem. Podmínku nezatopeného vtoku zajistíme dle rovnice (3.5), dosazením vzduuté hladiny h_0 .

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Minimální rozměr v (mm) pro převedení návrhového průtoku	382		
Minimální vyráběný rozměr v (mm) odpovídající platné legislativě	600	600	600
Navrhovaný vyráběný rozměr v (mm) při zajištění nezatopeného vtoku	600	600	600

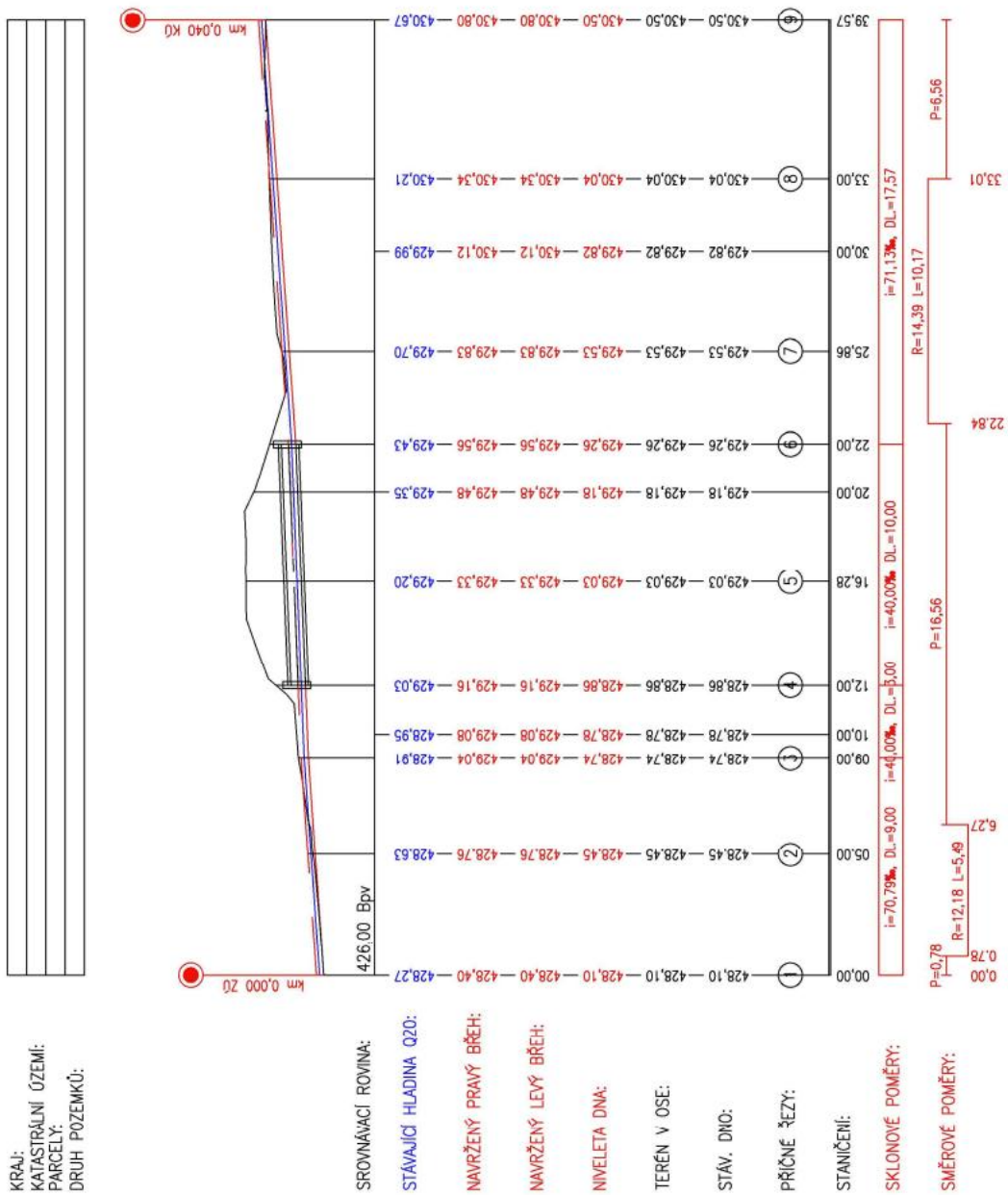
Tabulka 5-7 Porovnání minimálního průměru propustku na lokalitě č.2 dle různých kritérií.

Navržený průměr propustku je pro 2. lokalitu 600 mm pro všechny materiály potrubí. Všechny ostatní parametry propustku jsou uvedeny v tabulce 5-8. Propustek bude osazen v rýze o šíři 1.3 m a sklonu svahů 1:0.6. Jako lože bude sloužit vrstva stěrkočrti o mocnosti 0.25 m. Propustek bude osazen čely o šíři 3.6 m, výšce 2.5 m a tloušťce 0.6 m.

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Průměr	600(mm)	600(mm)	600(mm)
Délka	10 (m)		
Sklon	4 (%)		
Typ vtoku	1		
Součinitel zatopení	1.2		
Rychlostní součinitel	0.85		
Součinitel výškového zúžení	0.9		
Vzduť hladina před objektem	0.56 (m)		
Manningův součinitel drsnosti	0.013	0.011	0.09

Tabulka 5-8 Parametry propustku na lokalitě č.2.

Podrobný podélný profil: TRASA_2_NOVA M 1:200/200
Rozsah: km 0,00000 - km 0,03957



Obrázek 5-6 Podélný profil nové trasy na lokalitě č. 2.

5.3.3. Lokalita 3

Pro převedení návrhového průtoku na lokalitě č. 3 je při použití vzorce (3.20) zapotřebí propustek o průměru minimálně 118 mm. Tato hodnota zajišťuje proudění o volné hladině tak, že kapacitní průtok byl redukován hodnotou 0.915. Propustek tohoto rozměru však neodpovídá požadavkům platné legislativy na minimální průměr. V tomto konkrétním případě je rozměr propustku zcela závislý na minimálních schválených hodnotách, jelikož průtok je extrémně nízký. Tento výpočet nijak neřeší podmínku nezatopeného vtoku a ani nedovoluje porovnání vlivu jednotlivých materiálů trouby. Tyto aspekty je třeba posoudit podrobnějším výpočtem. Podmínku nezatopeného vtoku zajistíme dle rovnice (3.5).

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Minimální rozměr v (mm) pro převedení návrhového průtoku	118		
Minimální vyráběný rozměr v (mm) odpovídající platné legislativě	600	600	600
Navrhovaný vyráběný rozměr v (mm) při zajištění nezatopeného vtoku	600	600	600

Tabulka 5-9 Porovnání minimálního průměru propustku na lokalitě č.3 dle různých kritérií.

Navržený průměr propustku je pro 3. lokalitu 600 mm pro všechny materiály potrubí. Rozměry jsou vysoce nad požadavkem hydraulického posouzení, ale menší rozměry nejsou platnou legislativou přípustné. Všechny ostatní parametry propustku jsou uvedeny v tabulce 5-10.

V důsledku vysoké hodnoty podélného sklonu je nutné využít vtokové jímky, která vyrovná podélný sklon. Vtoková jímka bude čtvercová s tloušťkou stěn 0,6 m, hluboká 3,4 m a vnitřní průměr bude 0,8 m. Její dno bude 0,2 m pod troubou propustku, kdy vzniklý prostor bude sloužit jako vývar a prostor pro zachycení splavenin.

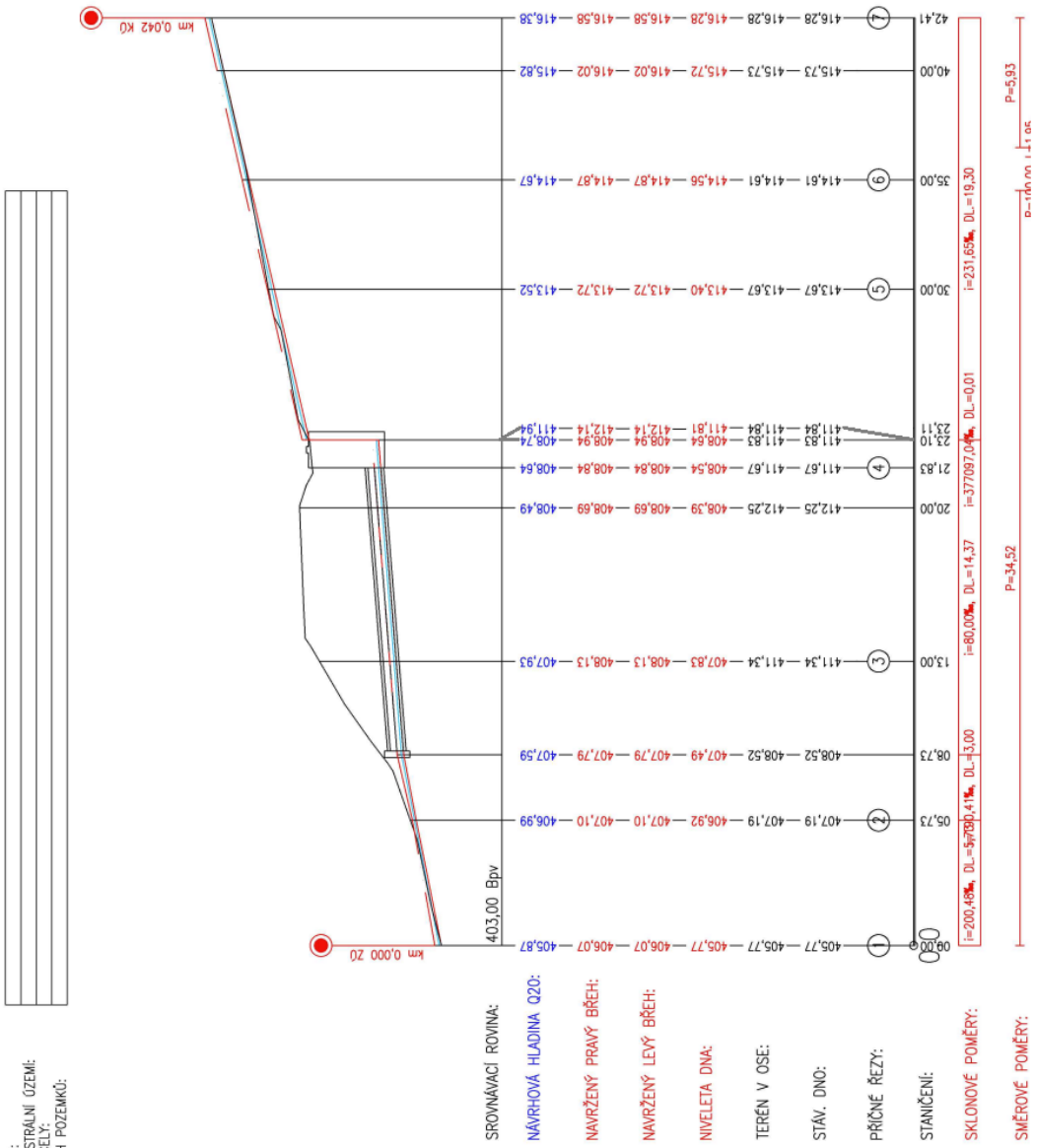
Propustek bude osazen v rýze o šíři 1.3 m a sklonu svahů 1:0.6. Jako lože bude sloužit vrstva stěrkodrti o mocnosti 0.25 m. Propustek bude osazen vtokovou jímkou a čelem o šíři 3.6 m, výšce 2,5 m a tloušťce 0.6 m na výtoku.

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Průměr	600(mm)	600(mm)	510(mm)
Délka	14 (m)		
Sklon	8 (%)		
Typ vtoku	1		
Součinitel zatopení	1.2		
Rychlostní součinitel	0.85		
Součinitel výškového zúžení	0.9		
Vzdutá hladina před objektem	0.13 (m)		
Manningův součinitel drsnosti	0.013	0.011	0.09

Tabulka 5-10 Parametry propustku na lokalitě č.3.

Podrobný podélný profil: TRASA_3_NOVA M 1:200/200
Rozsah: km 0,00000 - km 0,04241

KRAJ:
 KATASTRÁLNÍ OZEMÍ:
 PARCELY:
 DRUH POZEMKŮ:



Obrázek 5-7 Podélný profil nové trasy na lokalitě č. 3.

5.4. Vliv materiálu propustku

Hodnocení vlivu materiálu trouby je provedeno ve dvou ohledech. Prvním jsou hydraulické vlastnosti materiálu a jejich vliv na průběh hladiny a energie na konci propustku. Druhým ohledem je pak návrhová cena projektu s využitím daného materiálu.

5.4.1. Vlivu materiálu na proudění propustkem

Pro posouzení hydraulického vlivu jednotlivých materiálů je třeba využít postup, který neřeší kapitola (3.7.1.) propustky o volné hladině. Proudění o volné hladině je zde zajištěno pouze tak, že je zajištěna podmínka volného vtoku, podmínka minimálního sklonu a podmínka kapacitního průtoku. Pokud tyto podmínky platí, lze uvažovat volnou hladinu v propustku. Samotný průběh hladiny, změnu rychlosti a energii vody v průběhu propustku a na jeho konci však tento postup dále nijak neřeší. Z tohoto důvodu lze využít postup výpočtu průběhu hladin po úsecích, který uvažuje změnu hladiny, a od ní se odvíjejících parametrů proudění, na základě hydraulických vlastností a rozměru propustku. Klíčový je průměr, sklon, drsnost (materiál) a délka propustku. Tento postup je popsán v kapitole (3.7.2) vzorec (3.24).

Pro účel porovnání vlivu materiálu se je vybrán propustek na 1 lokalitě, jelikož jde o lokalitu s největším průtokem. Parametry prvního profilu se odvíjejí pouze od rychlosti proudění pře propustkem, hodnoty průtoku, průměru propustku a úpravy vtoku. Proto je první profil pro všechny materiály shodný (tabulka 5-11).

Q	Sc	Oc	Rc	hc	Bc	vc	l ₀
m ³ s ⁻¹	m ₂	m	---	m	m	ms ⁻¹	---
0.667	0.283	1.336	0.212	0.440	0.796	2.357	0.08

Tabulka 5-11 Parametry prvního profilu v propustku.

Parametry druhého profilu se už budou lišit na základě hydraulických vlastností propustku, hodnoty pro jednotlivé materiály potrubí v tabulkách (5-12; 5-13; 5-14;). Z parametrů profilu vychází také rozdílné hodnoty energie profilu. Porovnání energie na konci propustku pro jednotlivé materiály v tabulce (5-14).

Q	Skp	Okp	Rkp	hkp	Bkp	vkp	IE
m_3s^{-1}	m_2	m	---	m	m	ms^{-1}	---
0.667	0.156	1.010	0.154	0.278	0.7621	4.289	0.033

Tabulka 5-12 Parametry koncového profilu pro betonové potrubí.

Q	Skp	Okp	Rkp	hkp	Bkp	vkp	IE
m_3s^{-1}	m_2	m	---	m	m	ms^{-1}	---
0.667	0.152	0.998	0.152	0.273	0.759	4.403	0,025

Tabulka 5-13 Parametry koncového profilu pro ocelové potrubí.

Q	Skp	Okp	Rkp	hkp	Bkp	vkp	IE
m_3s^{-1}	m_2	m	---	m	m	ms^{-1}	---
0.667	0.148	0.989	0.150	0.269	0.756	4.507	0,018

Tabulka 5-14 Parametry koncového profilu pro plastové potrubí.

Porovnáním profilů se ukazuje, že hydraulicky drsnější potrubí má výrazně větší sklon čáry energie, která způsobí nižší rychlost proudění. Je patrný vťah mezi hodnotou sklonu propustku I0 a sklonem čáry energie IE, který naznačuje, že voda bude v propustku zrychlovat oproti korytu, tedy hladina bude klesat. Zároveň lze předpokládat, že čím bude potrubí delší, tím větší vliv bude materiál mít.

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Energetická výška profilu Ekp	1.263	1.311	1.356

Tabulka 5-15 Porovnání energie profilu na konci propustku pro jednotlivé materiály.

Porovnání ukazuje, že plastový propustek je hydraulicky nejúčinnější. Průtok vodou skrze plastový propustek je nejméně ovlivněn ztrátami způsobenými drsností propustku. Naopak hydraulicky nejméně účinný je propustek betonový, reálný rozdíl mezi propustky při této délce je však velice malý, v řádu 5%.

Při větší účinnosti propustku je však nutné řešit větší energii na jeho výtoku. Tím pádem je nutné přizpůsobit účinnou délku spadiště, případně účinnou výšku výstupků.

Délka spadiště se dle (TD LDS) standardně navrhuje 6m pod propustkem se světlostí DN 800. Hodnoty vypočtené délky u jednotlivých materiálů potřebné pro daný průtok a sklon k utlumení energie jsou v tabulce 5-16. Délku spadiště určíme dle postupu z kapitoly (3.10.3).

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Rychlostní součinitel dle Mostkovova vzorce	2.20	2.34	2.47
Rychlostní součinitel dle exponenciálního vzorce (3.66)	2.52	2.68	2.83

Tabulka 5-16 Délka spadiště pro jednotlivé materiály.

Z porovnání vypočtené délky a doporučené hodnoty 6m navrhované dle (TD LDS) vyplývá, že je tato navrhovaná délka pro daný průtok a sklon dostatečná u všech materiálů. Rovněž rozdíl mezi jednotlivými materiály není příliš výrazný.

5.4.2. Vliv materiálu na náklady na vybudování propustku

V tabulce 5-17 je porovnání nákladů na stavbu propustku, kdy je patrné, že varianta propustku s troubou z plastu je vždy výrazně nejlevnější. V tabulce 5-18 je porovnání objemu zemních prací. Objem zemních prací je největší pro variantu s troubou z betonu, naopak nejmenší je při použití trouby ocelové. Kompletní listy rozpočtu viz. přílohy.

Náklady na stavbu v tis. Kč bez DPH – metodika URS s CÚ 2021/II			
Lokalita	Materiál		
	Beton	Ocel	Plast
1	238.6	302.8	218.8
2	205.9	259.1	194.1
3	319.8	391.6	300.6

Tabulka 5-17 Náklady na stavbu propustku dle materiálu trouby.

Položka	Objem zemního tělesa m ₃			Objem výkopu m ₃			Objem trouby a čel/jímky m ₃		
	beton	ocel	plast	beton	ocel	plast	beton	ocel	plast
Lokalita 1	90	87	88	76.5	73.5	74.5	17.9	15.2	15.7
Lokalita 2	110	105	107	98.75	93.75	95.75	13.0	11.2	11.6
Lokalita 3	315	308	311	300.3	293.3	296.3	22.7	20.1	20.6
Položka	Plocha vrstev cesty m ₂	Objem lože m ₃	Objem zásyvu m ₃			Odvoz výkopu m ₃			
Materiál			beton	ocel	plast	beton	ocel	plast	
Lokalita 1	27	3.63	55.0	54.7	55.2	35.0	32.3	32.8	
Lokalita 2	22.5	2.86	82.8	79.5	81.2	27.1	25.4	25.7	
Lokalita 3	29.2	4.16	273.4	269	271.5	41.5	38.9	39.4	

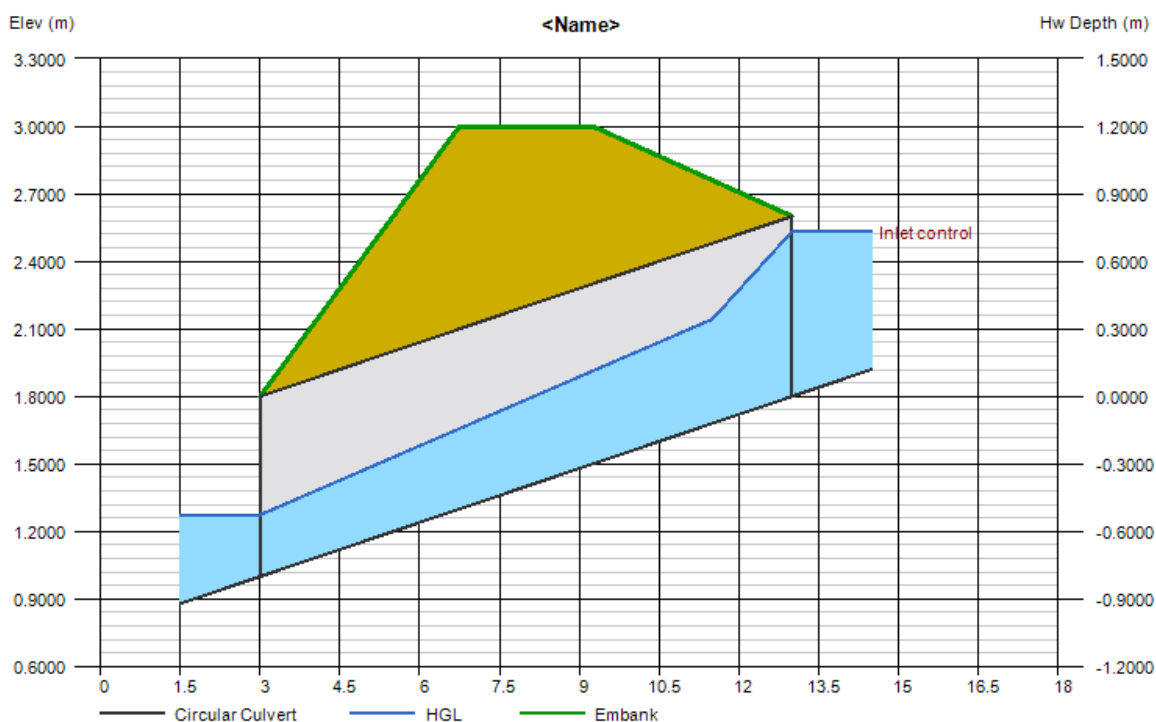
Tabulka 5-18 Objem zemních prací pro jednotlivé materiály.

5.5. Hydraulické posouzení propustku pomocí software

Pro hydraulické posouzení pomocí software je vybrána lokalita č. 1, která má největší průtok. Rozměr propustku je uvažován DN 800. Je zde nejlépe vidět rozdíl ve výsledcích výpočtu dle různých metod. Patrný je i rozdílný přístup jednotlivých metod k parametrům proudění před propustkem.

5.5.1. Posouzení pomocí Hydraflow Express

Pro výpočet jsou zadány parametry propustku uvažované v kapitole (5.3.1) Parametry násypu nejsou v tomto případě důležité, jelikož nepřipouštíme přetékání přes korunu lesní cesty při návrhovém průtoku.



Obrázek 5-8 Průběh hladiny v propustku. Program Hydraflow Express.

Q (m ₃ s ⁻¹)			Veloc (ms ⁻¹)		Depth (mm)		
Total	Pipe	Over	Dn	Up	Dn	Up	Hw
0.6670	0.6670	0.0000	4.39	2.04	273.87	496.12	732.3

Tabulka 5-19 Parametry proudění v betonovém potrubí. Program Hydraflow Express

Q (m ₃ s ⁻¹)			Veloc (ms ⁻¹)		Depth (mm)		
Total	Pipe	Over	Dn	Up	Dn	Up	Hw
0.6670	0.6670	0.0000	4.56	2.04	266.29	496.12	732.3

Tabulka 5-20 Parametry proudění v ocelovém potrubí. Program Hydraflow Express

Q (m ³ /s)			Veloc (ms ⁻¹)		Depth (mm)		
Total	Pipe	Over	Dn	Up	Dn	Up	Hw
0.6670	0.6670	0.0000	4.65	2.04	262.53	496.12	732.3

Tabulka 5-21 Parametry proudění v plastovém potrubí. Program Hydraflow Express

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Energetická výška profilu E _{kp}	1.305	1.379	1.420

Tabulka 5-22 Porovnání energie profilu na konci propustku pro jednotlivé materiály.

Q (m ₃ s ⁻¹)			Veloc (ms ⁻¹)		Depth (mm)		
Total	Pipe	Over	Dn	Up	Dn	Up	Hw
0.6670	0.6670	0.0000	4.85	2.55	293.76	524.32	953.1

Tabulka 5-23 Parametry proudění v betonovém potrubí DN 600 s úpravou vtoku zaoblením.
Program Hydraflow Express.

Materiál	Beton	Ocel	Plast
Průměr	600(mm)	600(mm)	600(mm)
Délka	10 (m)		
Sklon	8 (%)		
Typ vtoku	4		
Součinitel zatopení	1.4		
Rychlostní součinitel	0.95		
Součinitel výškového zúžení	0.95		
Vzdutá hladina pře objektem	0.88 (m)		
Manningův součinitel drsnosti	0.013	0.011	0.09

Tabulka 5-24 Parametry propustku s potrubím o rozměru DN 600, pro typ vtoku č. 4.

5.5.2. Posouzení kalkulátorem „Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“

Pro výpočet je nutné vyplnit parametry podobně jako u předchozí metody kapitola (4.6.2.). Rozdílem je, že nezadáváme průměr propustku, ale ten je naopak stanoven na základě ostatních parametrů, spolu s režimem proudění v propustku. Všechny vyplňované parametry vycházejí z návrhu propustku dle kapitoly (5.3.1) s výjimkou průměru potrubí, který je dopočítán. Touto metodou lze posoudit pouze betonový propustek, srovnání vlivu materiálu tak není v tomto případě možné.

◆ A. Square edge with headwall

◆ Entrance loss coefficient K_e : 0.5

◆ Exit loss coefficient K_E : 1

◆ Number of iterations: 3

◆ Culvert diameter D: 0.914 m

◆ Critical depth y_c : 0.476 m

◆ Normal depth y_n : 0.266 m

◆ Because critical depth is greater than normal depth, the flow is supercritical.

◆ Because tailwater depth is less than normal depth, there will be a hydraulic drop at the outlet.

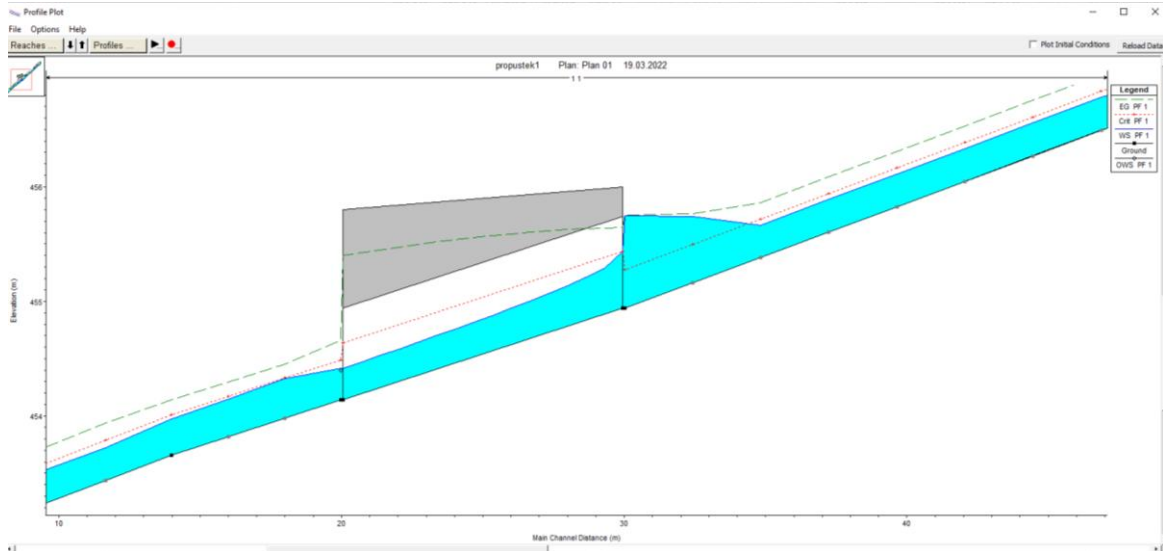
◆ Because the flow is supercritical, the culvert is under inlet control.

Obrázek 5-9 Výstup z online kalkulátoru online culvert FHWA.

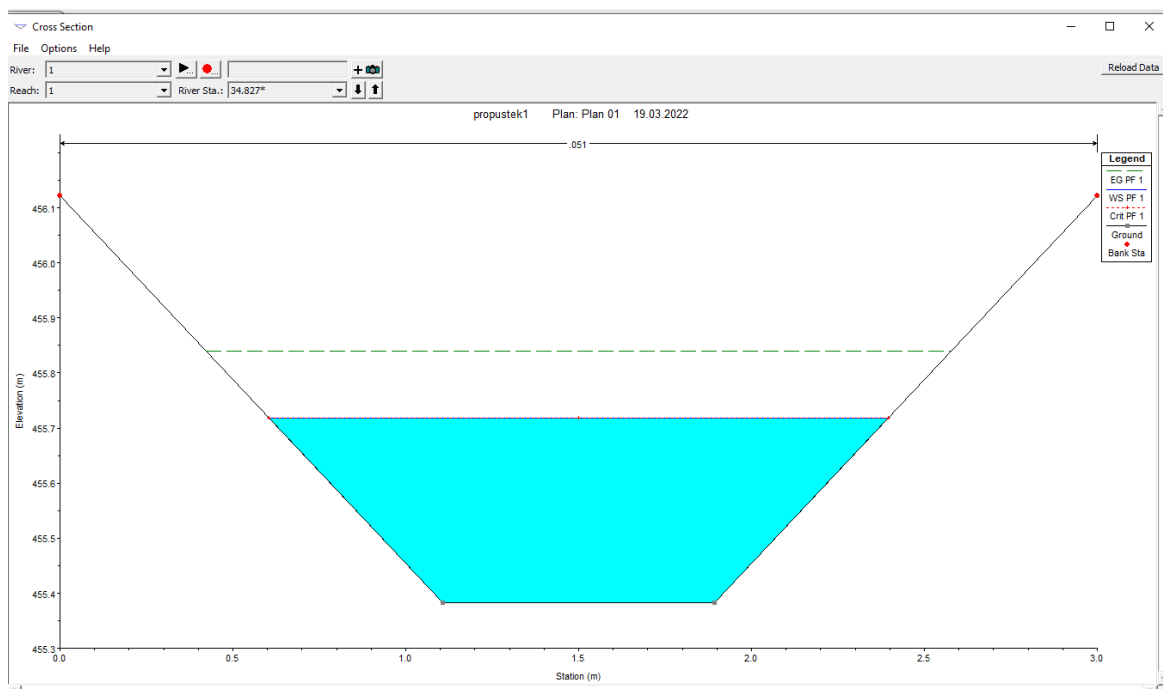
Zdroj: <http://uon.sdsu.edu/onlineculvert.php>

5.5.3. Posouzení pomocí programu HEC-RAS

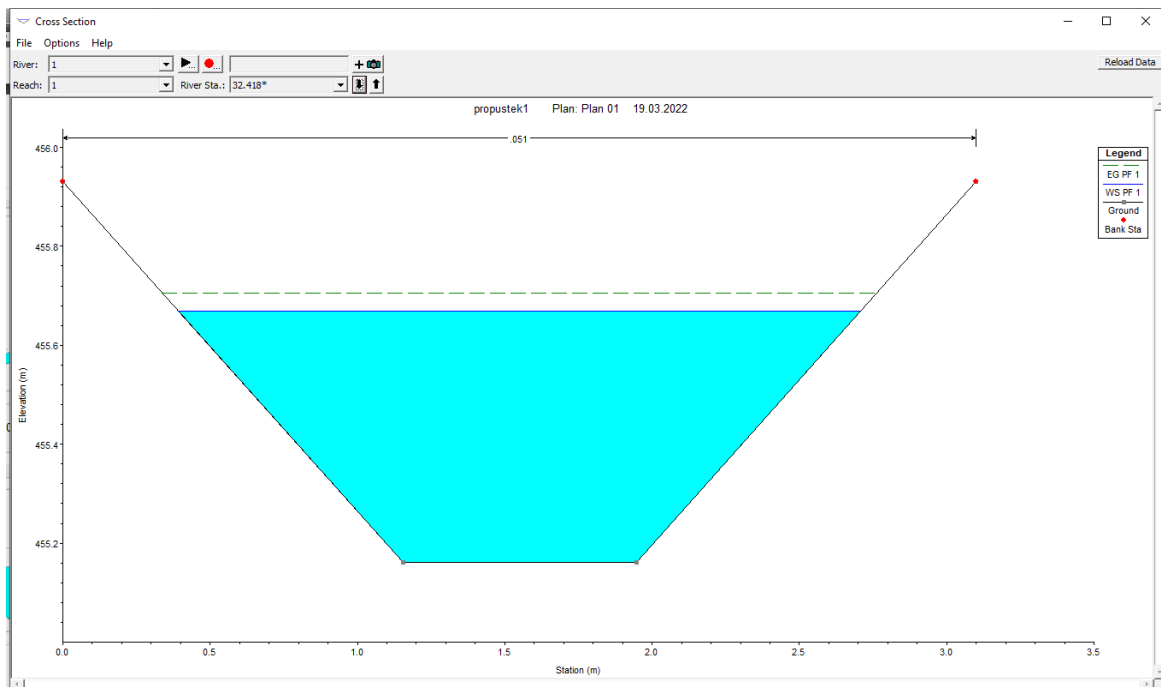
Výsledkem posouzení propustku pomocí programu HEC-RAS je mimo jiné podélný profil, který zachycuje změny hloubky (HGL) a energetické výšky (EGL).



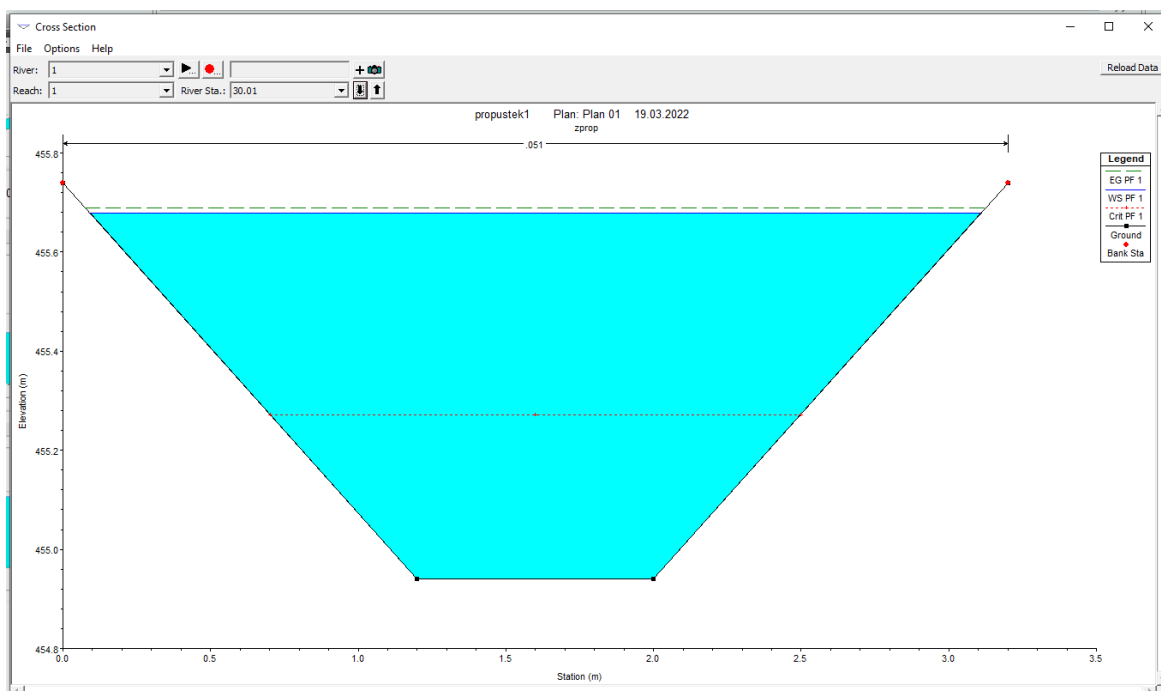
Obrázek 5-10 Podélný profil proudění v trase. Program HEC-RAS.



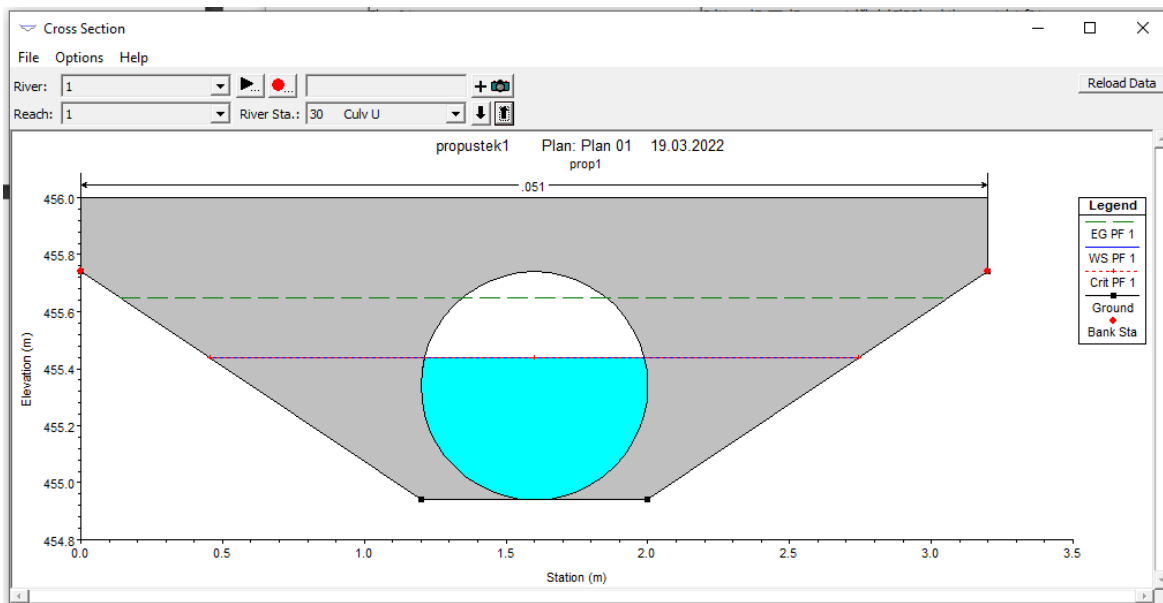
Obrázek 5-11 Příčný řez ve staničení km 0,0350, hloubka 0.33 m. Program HEC-RAS.



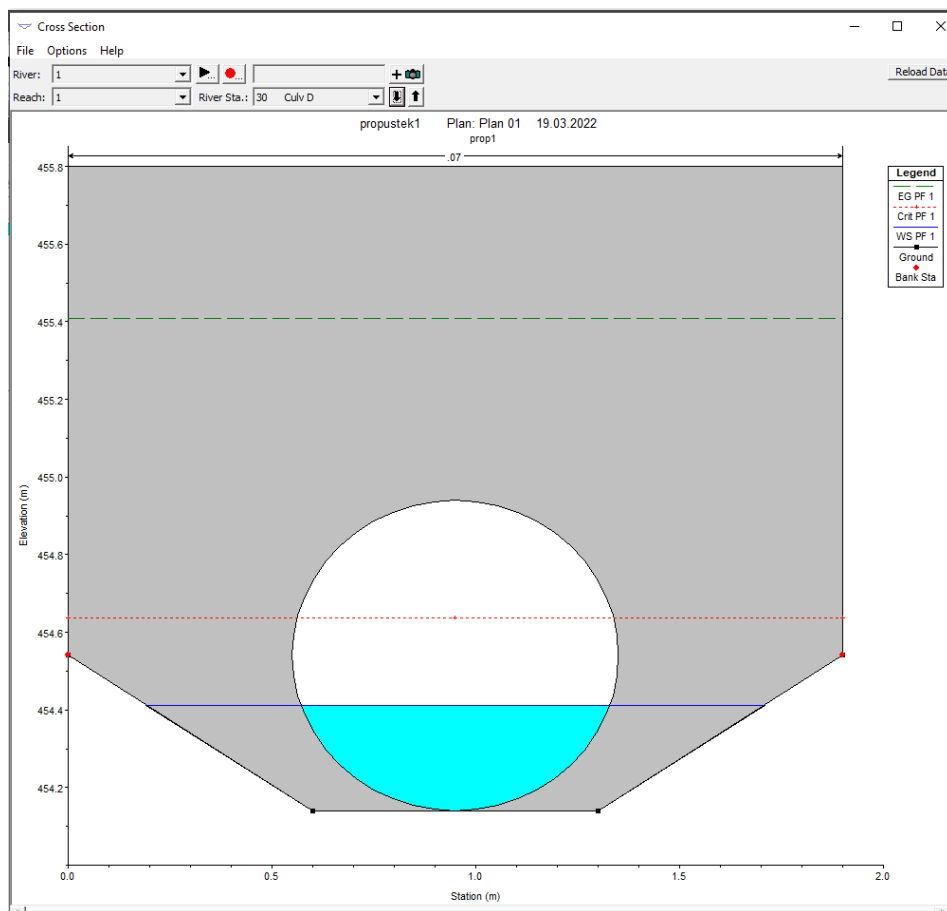
Obrázek 5-12 Příčný řez ve staničení km 0,03242, hloubka 0.51 m. Program hec ras.



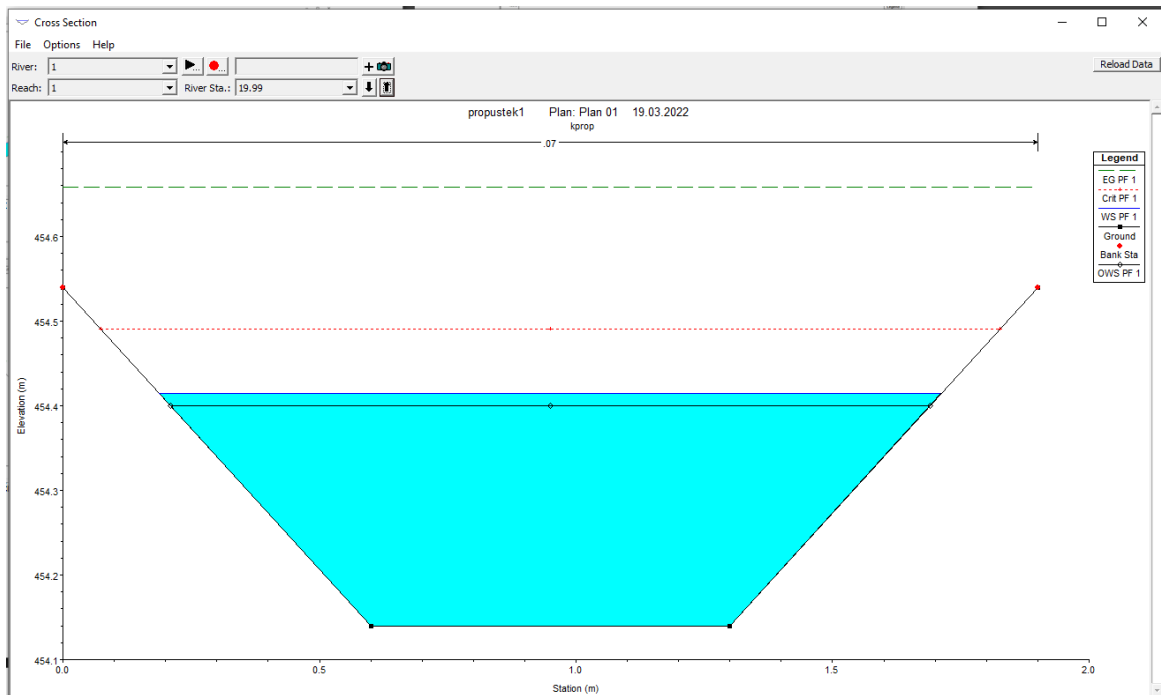
Obrázek 5-13 Příčný řez ve staničení km 0,03001, hloubka 0.74 m. Program hec ras.



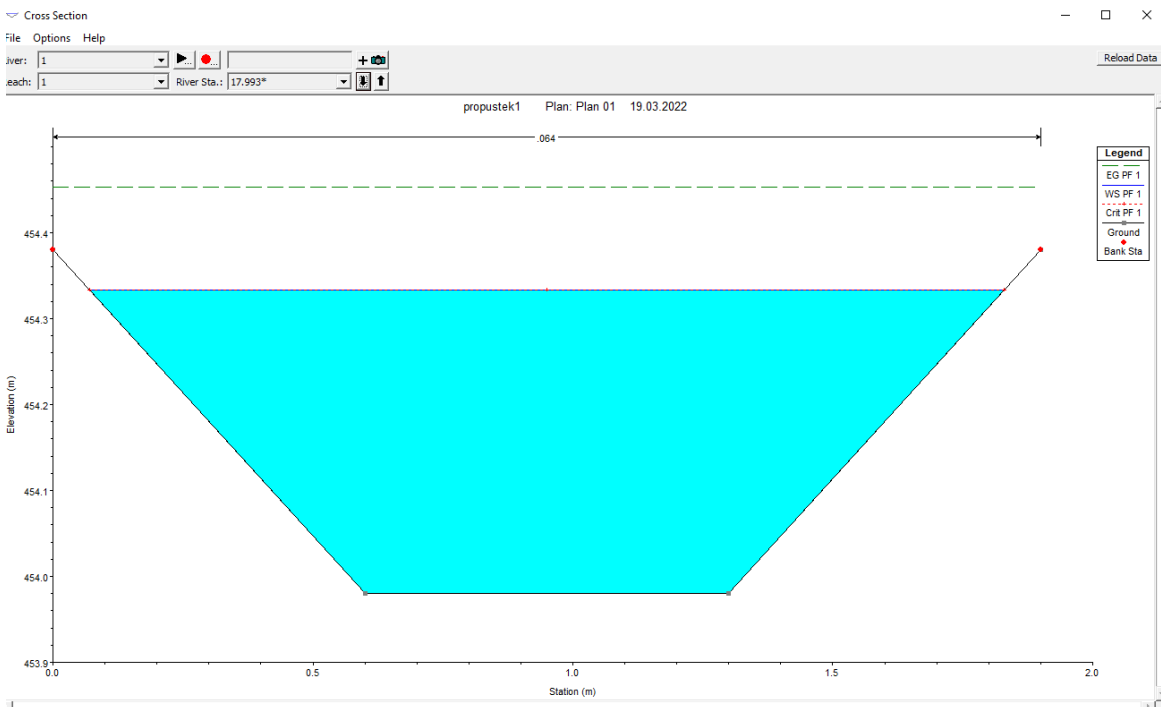
Obrázek 5-14 Příklad příčný řez ve staničení km 0,02999, hloubka 0.5 m. Program hec ras.



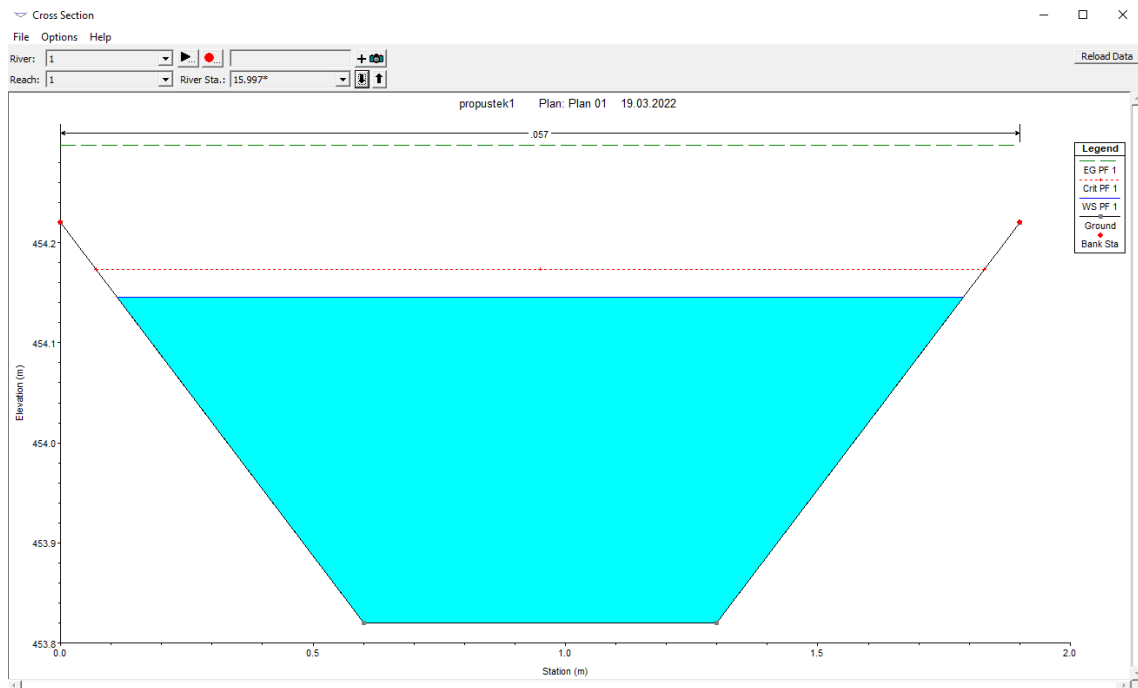
Obrázek 5-15 Příklad příčný řez ve staničení km 0,02001, hloubka 0.27 m. Program hec ras.



Obrázek 5-16 Příklad příčný řez ve staničení km 0,01999, hloubka 0,27 m. Program hec ras.



Obrázek 5-17 Příklad příčný řez ve staničení km 0,01800, hloubka 0,35 m. Program hec ras.



Obrázek 5-18 Příčný řez ve staničení km 0,01600, hloubka 0.33 m. Program hec ras.

Z jednotlivých profilů lze odečíst hodnoty HGL a EGL, respektive hloubky a energetické výšky. Tyto hodnoty lze porovnat s ostatními metodami posouzení propustků. Díky faktu, že HEC-RAS pracuje i s parametry koryta v okolí propustku, můžeme dosazením požadované drsnosti ověřit délku spadiště pod propustkem.

Profil				Propustek		6	7	8
	1	2	3	Vtok	Výtok			
Beton n= 0,013	1	2	3	Vtok	Výtok	6	7	8
Hloubka (m)	0.33	0.58	0.80	0.5	0.27	0.27	0.35	0.33
Energetická výška (m)	0.48	0.61	0.81	0.71	1.26	0.52	0.47	0.48
Ocel n = 0,011	1	2	3	Vtok	Výtok	6	7	8
Hloubka (m)	0.33	0.58	0.80	0.5	0.26	0.26	0.35	0.33
Energetická výška (m)	0.48	0.61	0.81	0.71	1.32	0.58	0.47	0.48
Plast n = 0,009	1	2	3	Vtok	Výtok	6	7	8
Hloubka (m)	0.33	0.58	0.80	0.5	0.26	0.26	0.35	0.33
Energetická výška (m)	0.48	0.61	0.81	0.71	1.38	0.64	0.47	0.48

Tabulka 5-25 Hodnoty proudění v příčných řezech stanovené programem HEC-RAS.

6. Diskuse

6.1. Stav stávajících objektů

Z výsledků posouzení stávajících propustků vyplývá, že jejich průměr zcela neodpovídá platné legislativě na všech lokalitách. Zde povoluje vyhláška č 239/2007 nejmenší průměr 510 mm, zatímco průměr stávajících propustků je 300 mm, 400 mm a 300 mm. Z hlediska hydraulického je však nevhodný pouze propustek na lokalitě č. 1, kdy kapacitní průtok při volné hladině je výrazně nižší než průtok návrhový.

Rozměry a konstrukční řešení jsou také nedostatečné z hlediska údržby, kdy může snadno dojít k ucpání potrubí splávním. Poslední lokalita s podélným sklonem téměř 15% pak výrazně překračuje sklon doporučovaný. To má za následek značnou erozi koryta pod propustkem, a to i při relativně nízkém průtoku.

Konstrukční řešení je pak částečně správné pouze na lokalitě č. 2. Propustek je zde vybaven odpovídajícími čely, je dodržen minimální sklon. Chybí pouze spadiště pod propustkem. Ale za výtokem je umístěno několik větších kamenů, které účinně tlumí energii a nedochází tak k další erozi koryta.

Celkově je v současném stavu nejlépe řešena lokalita č. 2, která je vybavena troubou s největším průměrem, která má i vhodný sklon 4%. Rozměr sice neodpovídá průměrem platné legislativě, ale je dostatečný pro daný průtok. Pouze chybí spadiště a výtoková strana propustku je umístěna relativně vysoko nad dnem koryta, k tomu pravděpodobně z části došlo právě v důsledku eroze koryta vytékající vodou.

6.2. Porovnání metod posuzování propustků

Všechny metody posouzení propustku uvažované v této práci poskytly s určitou tolerancí podobné výsledky. Jsou však mezi nimi rozdíly, vyplývající především z odlišného postupu a požadovaných vstupních parametrů. Metody budou porovnány, bude-li to možné, pouze dle hodnot, které jsou pro výpočty společné. Těmi jsou vzdutá hladina před propustkem a energetická výška na konci propustku. Ostatní hodnoty jsou měřeny jednotlivými metodami v různých místech propustku a nelze je vzájemně porovnat.

6.2.1. Referenční metoda posouzení dle TP 232

Způsob hydrotechnického výpočtu dle (TP 232) je brán jako referenční, jelikož je velmi podrobný a uvažuje velké množství vstupních dat. Ostatní metody jsou s ním srovnávány. Postup dle (TP 232) je v porovnání s ostatními způsoby relativně pracný a časově náročný. Je třeba řešit jednotlivé úseky každý zvlášť. Manuální zjišťování hloubky na konci každého úseku nám ovšem zajistí velmi podrobný náhled na průběh hladiny a možnost srovnání s ostatními metodami. Zajímavá je hodnota sklonu čáry energie, která je větší u hydraulicky drsnějšího potrubí, zároveň vidíme, že tato hodnota je v každém dalším úseku větší. Lze předpokládat, že při dostatečné délce propustku se tato hodnota začne limitně blížit sklonu propustku a voda už nebude dále zrychlovat.

Parametry koryta		Parametry propustku		Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4		Profil 5		Profil 6		Profil 7		Profil 8		Profil 9		Profil 10			
hh	0.31 m	Průměr D	0.8 m	štok	0.9	Q	0.6673 m ³ *s ⁻¹	S2	0.2341	S3	0.2104	S4	0.1944	S5	0.1824	S6	0.1728	S7	0.1650	S8	0.1589	S9	0.1529	S10	0.1481
bh	0.7 m	Poloměr	0.4 m	štokem	0.5	Op	2.5133 m	O1	1.2136	O3	1.1538	O4	1.1129	O5	1.0814	O6	1.0561	O7	1.0352	O8	1.0179	O9	1.0022	O10	0.9887
Bh	1.63 m	délka L	1 m	řsouč	0.85	O D-hc	1.1770 m	p2	0.1926	a3	0.1824	R4	0.1747	R5	0.1686	R6	0.1636	R7	0.1594	R8	0.1557	R9	0.1526	R10	0.1498
mh	1.5	sklon i	8.00%	m3/s	1.2	Sr	0.2531 m ²	w2	0.9785	hp	0.2487	w4	0.3285	hp	0.3131	w6	0.3008	hp	0.2907	w8	0.2822	hp	0.2749	w10	0.2685
vh	1.892 m/s	i.min	0.25%	m3/s	0.009	Oc	1.3363 m	alfa2	3.0340	alfa3	2.8944	alfa4	2.7822	alfa5	2.7036	alfa6	2.6404	alfa7	2.5881	alfa8	2.5437	alfa9	2.5054	alfa10	2.4716
Sh	0.36115 m ²					Rc	0.2118 m	b2	0.7986	b3	0.7894	b4	0.7871	b5	0.7809	b6	0.7750	b7	0.7696	b8	0.7649	b9	0.7609	b10	0.7559
Oh	1.680 m					nk	0.4886 m	c2	87.8354	c3	87.1318	c4	86.6002	c5	86.1624	c6	85.7911	c7	85.4707	c8	85.1898	c9	84.9388	c10	84.7138
Rh	0.215					hc	0.4397 m	v2	2.8499	v3	3.1715	v4	3.4319	v5	3.6591	v6	3.8618	v7	4.0444	v8	4.2108	v9	4.3640	v10	4.5070
Q	0.6831 m ³ /s					D-hc	0.3603 m	r2	2.2968	r3	3.0873	r4	3.8375	r5	4.5772	r6	5.3067	r7	6.0225	r8	6.7250	r9	7.4151	r10	8.0974
Qdim	0.6673 m ³ /s					hc	0.7960 m	E2	0.8132	E3	0.8870	E4	0.9588	E5	1.0297	E6	1.0989	E7	1.1661	E8	1.2311	E9	1.2941	E10	1.3556
Cn	13.452					alpha D-hc	2.9426	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
fn	1.235					vc	2.3573 m ² *s ⁻¹	Sr	0.2586	Sr	0.2223	Sr	0.2024	Sr	0.1884	Sr	0.1776	Sr	0.1689	Sr	0.1617	Sr	0.1557	Sr	0.1505
a	1.05					fc	1.3525	Or	1.2749	Or	1.1833	Or	1.0972	Or	1.0168	Or	0.9457	Or	0.8844	Or	0.8317	Or	0.7879		
g	9.81					C	89.0168	Rr	0.2024	Rr	0.1876	Rr	0.1785	Rr	0.1717	Rr	0.1661	Rr	0.1615	Rr	0.1576	Rr	0.1542	Rr	0.1512
nh	0.051					E	0.8317	Cr	88.4261	Cr	87.4836	Cr	86.8660	Cr	86.3813	Cr	85.9767	Cr	85.6309	Cr	85.3303	Cr	85.0648	Cr	84.8268
ih	9.20%					h1	0.6403 m	IE	0.0042	IE	0.0063	IE	0.0081	IE	0.0098	IE	0.0115	IE	0.0132	IE	0.0148	IE	0.0165	IE	0.0181
ch	15.1					h zat	0.96	P1	0.817	P1	0.893	P1	0.967	P1	1.039	P1	1.110	P1	1.179	P1	1.246	P1	1.311	P1	1.374
En	0.5015					Hw/D	0.80032	p2	0.817	p2	0.893	p2	0.967	p2	1.039	p2	1.110	p2	1.179	p2	1.246	p2	1.311	p2	1.374
dmh	0.2 m							Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty			
								Průměrné hodnoty	Průměrné hodnoty	Prům															

6.2.2. Porovnání posouzení pomocí Hydraflow Express s referenční metodou

Výhoda tohoto způsobu posouzení propustku spočívá v jednoduchosti a rychlosti. Zároveň je potřebný software součástí standardně využívané platformy. Nevýhodou je to, že nebere v potaz parametry proudění před propustkem. To způsobí rozdílné hodnoty hloubky vody před propustkem. Postup dle (TP 232) udává hloubku vzduté vody h_1 0,82 m, zatímco program Hydraflow Express 0,73 m. To je důležité uvážit při navrhování rozměru propustku.

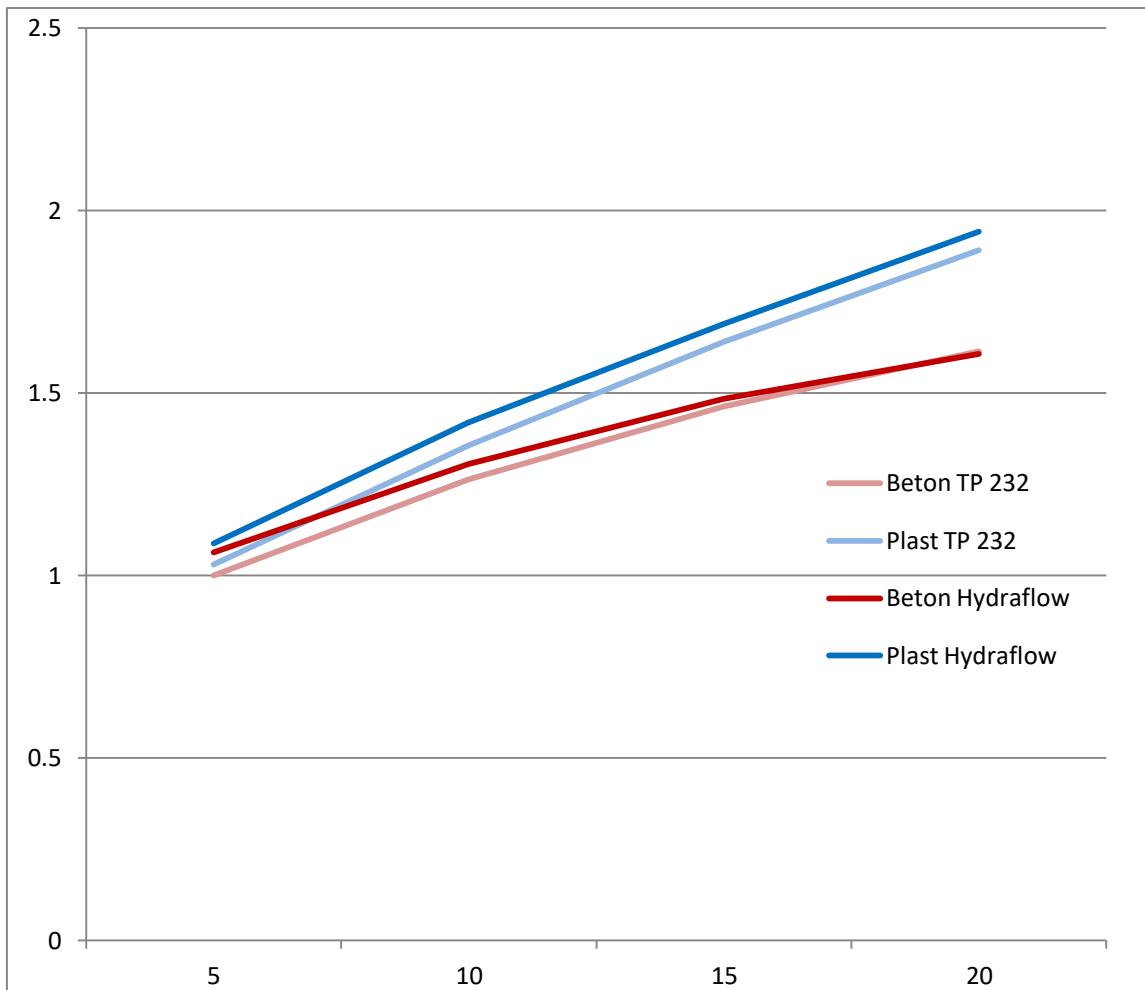
Hloubka vzduté vody před propustkem s betonovým potrubím o rozměru DN 600 a úpravou vtoku zaoblením vypočtená dle (TP 232) je 0,7 m. To po vynásobení průměru propustku koeficientem zatopení zajišťuje volný vtok. Zatímco dle programu Hydraflow Express je tato hloubka 953 mm, tedy 0,95 m a vtok je zatopen. Obě metody se zároveň shodnou na tom, že hodnota vzduť hladiny není ovlivněna materiálem trouby propustku.

Naopak vliv materiálu propustku, tedy hodnoty průtočného profilu na konci propustku jsou podobné s postupem dle (TP 232), to lze vidět v tabulce (6-1).

Materiál	Beton		Ocel		Plast	
	TP 232	Hydraflow	TP 232	Hydraflow	TP 232	Hydraflow
Hloubka h _{kp}	0.278	0.274	0.273	0.266	0.269	0.263
Rychlost v _{kp}	4.29	4.39	4.40	4.56	4.51	4.65
Energetická výška E _{kp}	1.263	1.305	1.311	1.379	1.356	1.420

Tabulka 6-1 Porovnání parametrů na konci propustku dle metody posouzení.

Můžeme pozorovat konzistenci výsledků obou metod i při různých délkách propustku. V grafu 6-1 lze vidět porovnání energetické výšky na konci propustku E_{kp} . V této hodnotě je zachycena i rychlost a výška na konci propustku. Pro další srovnání vlivu materiálu lze tedy tento postup použít, jelikož dává spolehlivé výsledky a je výrazně rychlejší při změně vstupních parametrů



Graf 6-1 Porovnání hodnoty energetické výšky na konci propustku o různých délkách.

6.2.3. Porovnání posouzení pomocí „Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“ s referenční metodou

Posouzení pomocí tohoto online kalkulátoru je rovněž velice jednoduché, v zásadě se od předchozí metody liší pouze v tom, že neposuzuje námi navržený propustek, ale na základě vstupních dat nám navrhne vhodné řešení. Jelikož postup vychází z metodiky používané v Americe, jsou při posouzení propustky děleny na Inlet / Outlet kontrol, dle (Hydraulic Design of Highway culverts 2012.)

V důsledku omezení hodnoty Manningova součinitele pouze pro betonové potrubí a celkově odlišného přístupu k posuzování propustku není mnoho prostoru pro porovnání této metody s ostatními. Zmínit lze snad pouze podobné hodnoty kritické hloubky a hloubky na konci propustku. Ty však nelze přímo porovnat, jelikož průměr propustku byl navržen na hodnotu 0,91 mm, zatímco v ostatních případech se uvažuje průměr 800 mm.

6.2.4. Porovnání posouzení pomocí programu HEC-RAS s referenční metodou

Výhoda programu HEC-RAS spočívá v možnosti modelovat i koryto před a za propustkem, což umožní přesnější analýzu. Lze toho také využít v případě, že je předmětem návrhu také koryto před a za propustkem, tedy v případě propustku na vodoteči s trvalým průtokem.

Nevýhodou je pak relativně složité modelování koryta. Tato nutnost odpadá, máme-li k dispozici exportovaný DMT například z programu CIVIL-3D. Co se týče parametrů proudění propustkem, shodne se tento postup téměř dokonale s postupem dle (TP 232).

Hodnota vzduté hladiny před propustkem je 0,8 m zatímco dle (TP 232) 0,82 m. Hloubka vody na výtoku z propustku je zde s odchylkou jednoho centimetru shodná s postupem dle (TP 232).

Energetická výška je u této metody dopočítána odečtením nivelety dna od nivelety energetické linie (EGL). Tento způsob je v zahraniční literatuře běžný, niveletu (EGL) dostaneme sečtením nadmožské výšky dna a energetické výšky v daném místě.

Hloubka je zde obdobným způsobem určena z hodnoty water surface (WS), v zahraniční literatuře též hydraulic grade line (HGL), což je v podstatě niveleta hladiny. Princip je stejný jako u (EGL), kdy je k nadmožské výšce dna přičtena hloubka vody v daném místě.

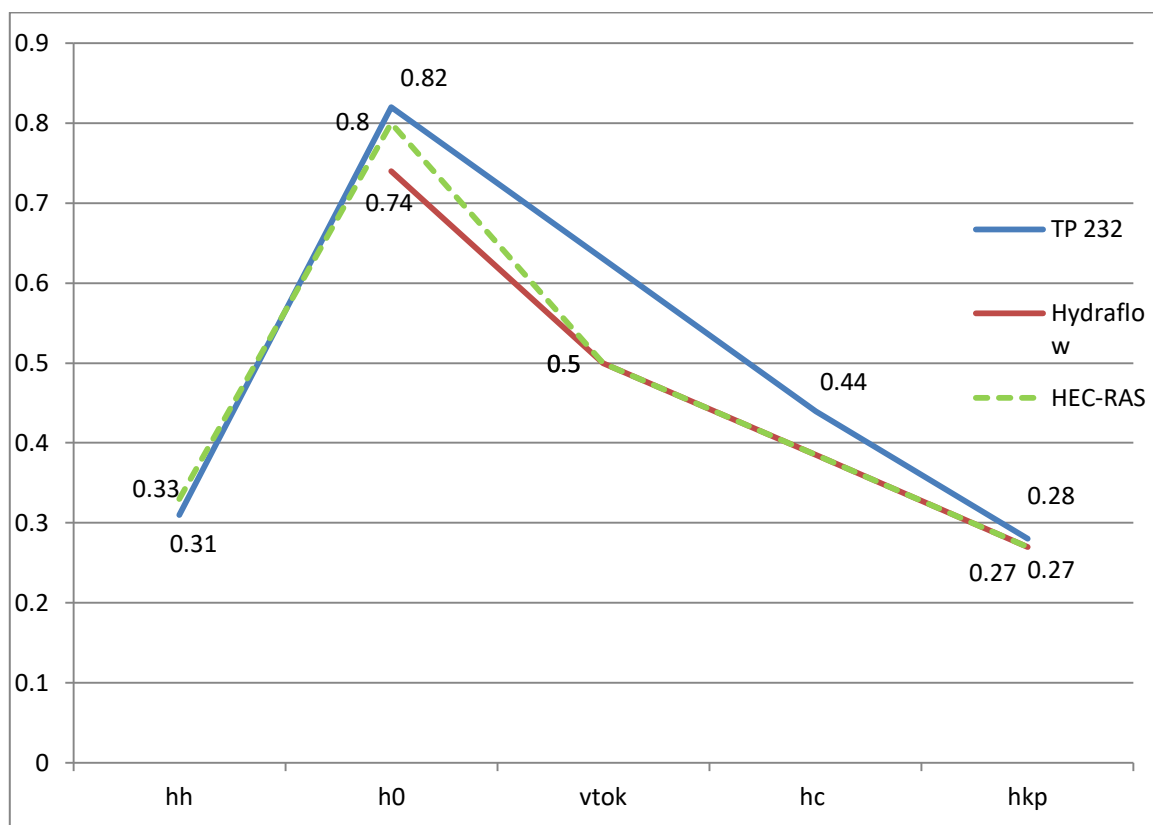
Materiál	Beton	Ocel	Plast
TP 232	0,28	0,27	0,27
HEC-RAS	0,27	0,26	0,26

Tabulka 6-2 Porovnání hloubky na výtoku z propustku mezi HEC-RAS a TP 232.

6.2.5. Porovnání společných hodnot ze všech metod posouzení

Pro vzájemné porovnání výsledků z jednotlivých metod nelze využít všechny hodnoty zjištěné jednotlivými metodami. Jak již bylo zmíněno, lze porovnat pouze hodnoty, které jsou stanoveny všemi metodami. Zároveň jsou tyto srovnávané hodnoty nejpodstatnější.

Při posuzování propustku je to především hladina vzduté vody, aby bylo možno ověřit volnou hladinu a nezatopený vtok. Pro srovnání vlivu materiálu je pak směrodatná hloubky a rychlost na konci propustku, respektive energetická výška.



Graf 6-2 Porovnání hloubky metod posouzení propustku dle parametrů proudění propustkem.

Z porovnání jednotlivých metod vyplývá, že se jedná vhodné alternativy. V této kapitole je při srovnání vynecháno posouzení pomocí „Online culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“, a to z důvodu odlišného přístupu k výpočtu. U této metody lze pouze srovnat pouze navrhovaný průměr propustku, který byl 914 mm. U ostatních metod byl posuzován propustek s průměrem 800 mm, který vychází z běžně vyráběných a dostupných rozměrů potrubí.

6.3. Porovnání jednotlivých materiálů

6.3.1. Porovnání vlivu materiálu na hydraulické vlastnosti

Pro samotné porovnání vlivu materiálu trouby se nejlépe hodí propustek na lokalitě č. 1. Zde je největší průtok a je tak nejlépe reprezentován stav, při kterém mají hydraulické vlastnosti propustku největší význam. Na ostatních lokalitách se rozměry propustku odvíjejí čistě od požadavků legislativy, nikoliv od hydraulického posouzení

Obecně lze říci, že pokud bude mít materiál větší hydraulickou drsnost, dojde ke snížení rychlosti proudění a na konci propustku bude větší hloubka a menší energie. To lze popsat jako snížení hydraulické účinnosti propustku.

Porovnáním profilů se ukazuje, že hydraulicky drsnější potrubí má větší sklon čáry energie, která způsobí nižší rychlost proudění. Zároveň lze předpokládat, že čím bude potrubí delší, tím větší vliv bude materiál mít tabulka (6-3).

Délka propustku	5 m	10 m	30 m	50 m
Procentuální rozdíl energetické výšky na konci propustku mezi ocelovým a plastovým potrubím	2.26%	8.06%	12,10%	17.25%

Tabulka 6-3 Procentuální rozdíl v energetické výšce mezi potrubím o různé drsnosti při sklonu dna propustku 8%.

Dle (Hydraulic Design of Highway Culverts 2012) je drsnost propustku jedním z faktorů ovlivňujících průtok. To ovšem platí pouze v případě, že limitním faktorem propustku není vtok, a jedná se tedy o „outlet kontrol“ režim proudění. Tento režim je běžnější při nízkém podélném sklonu. Pokud tedy není limitním faktorem propustku účinnost vtoku, ale účinnost samotného potrubí, hraje jeho drsnost výrazně větší roli. Využitím materiálu s nižší drsností tak lze zvýšit kapacitní průtok.

U propustku s kontrolou vtokem, „inlet kontrol“, není vliv materiálu tak značný. Limitním faktorem je účinnost vtoku a hladina má tendenci klesat v celé délce propustku. Pokud navíc uvažujeme nezatopený vtok a dodržíme minimální sklon podélný potrubí pro zachování volné hladiny, jediným důsledkem odlišné drsnosti materiálu je mírný rozdíl v energii na konci propustku. Tato energie však byla ve všech případech efektivně utlumena spadištěm o délce doporučené dle (TD LDS), což bylo ověřeno výpočtem viz. kapitola (3.10.3).

6.3.2. Porovnání vlivu materiálu na délku spadiště a způsob jejího výpočtu

Výpočet délky spadiště je do určité míry podobný jako vyšetřování průběhu hladiny v propustku či korytě. Jde o to zjistit, po jaké vzdálenosti se čára energie vyrovná do rovnoběžné polohy se sklonem dna spadiště a spadiště. Tuto délku nazýváme účinnou délkou spadiště. Pokud je sklon čáry energie větší než sklon dna, bude voda zpomalovat, pokud je menší, bude zrychlovat. To bude pokračovat až do chvíle, kdy se vyrovnají do rovnoběžné pozice. Pro zjištění sklonu čáry energie je klíčovým parametrem rychlostní součinitel, spolu s rozměry průtočného profilu spadiště.

Výpočet rychlostního součinitele dle Mostkova je primárně určen pro přirozená koryta s vyšší drsností a větším průtokem. V případě výpočtu menšího propustku, nebo propustku, u něhož není plně využita kapacita, je pravděpodobné, že není splněna platnost vztahu (3.68). V praxi to znamená, že průtok vody je tak malý, že i nejnižší hodnota velikosti výstupků (k) je výrazně větší než výška hladiny ve spadišti h_s . V takovém případě plní spadiště spíše statickou funkci, ke snížení energie by došlo i v původním korytě bez zvýšené drsnosti. Pro odhad délky spadiště je možné v tomto případě využít vzorec (3.66).

Výpočet délky spadiště však v případě navrhovaných propustků potvrdil dostatečnost doporučené délky spadiště dle (TD LDS)

6.3.3. Porovnání vlivu materiálu na náklady na vybudování propustku

Při porovnání nákladů pro jednotlivé materiály lze jasně vidět, že při použití plastové trouby jsou náklady vždy nejnižší. Naopak největší náklady jsou u trouby ocelové. Rozdíl je celkem výrazný a v některých případech dosahuje až 50 % mezi nejlevnější a nejdražší variantou. Rozdíl v ceně jednotlivých materiálů je i zřetelně větší než rozdíl v průměru propustku.

Největší rozdíl mezi jednotlivými variantami dělá samotná cena trouby. V případě kdy je větší objem zemních prací, není relativní rozdíl mezi variantami tak zřetelný. Dalším zdrojem rozdílu je odlišný objem zemních prací potřebný pro jednotlivé materiály trub. Tento rozdíl je způsoben různou tloušťkou stěny trouby. Při použití betonové trouby, s tloušťkou stěny 11,5 cm a trouby ocelové, s tloušťkou stěny 8 mm, bude výkop zhruba o 0,1 m hlubší. Tento rozdíl však výrazně neovlivní celkové náklady v porovnání s cenou trouby.

7. Závěr

Návrh nového propustku musí splňovat několik požadavků. Musí odpovídat platné legislativě, kdy nejmenší povolená světlost propustku je 510 mm. Zároveň musí splňovat požadavek na převedení návrhového průtoku Q_{dim} pro danou lokalitu. V neposlední řadě je vhodné vycházet ze sortimentu běžně dostupných rozměrů trub. Nový objekt by měl v ideálním případě navržen tak, aby bylo řešení ekonomicky nejvýhodnější. To se odvíjí především od zvoleného materiálu potrubí, dále pak hraje roli navržená trasa a objem zemních prací. Prioritou je však takové řešení, které odpovídá platné legislativě a zajistí i požadovanou funkčnost a životnost. Ideální řešení tak leží na hranici, kdy i výraznější navýšení rozpočtu se jen minimálně projeví na zlepšení funkčnosti, životnosti a bezpečnosti objektu.

Pro zajištění stability je ideální režim proudění s volnou hladinou a nezatopeným vtokem. Je relativně jednoduché stanovit průběh hladiny, především není-li propustek ovlivněn vodou na výtoku. Zároveň je při zajištění podmínky volného vtoku dosaženo efektivní rezervy. Ta má za následek lepší průchodnost propustku pro různé cizí předměty unášené proudem vody, zároveň lze takovýto propustek snáze čistit. Především je ale volba většího průměru i ekonomicky opodstatnitelná, jelikož rozdíl mezi nejbližšími rozměrovými variantami je zhruba 10 procent z celkového rozpočtu. Tato investice se ovšem může i vyplatit v podobě snazší údržby a delší životnosti.

Z hlediska rozpočtu vychází nejlépe varianta plastové trouby. Druhá nejlepší je trouba betonová, kdy rozdíl mezi těmito variantami je velice malý. Bude tak záležet na konkrétní situaci a dostupnosti jednotlivých trub. Ekonomicky nejméně výhodná je varianta s ocelovou troubou, která snadno dosahovala o 25 až 50 procent větších nákladů v porovnání s ostatními dvěma metodami. Konkrétní hodnota závisela na objemu zemních prací, které se z části odvíjely od použité varianty, ale tento vliv se na ceně projevil minimálně. Pokud porovnáme rozdíl pouze v ceně materiálu, je ocelová trouba na metr délky čtyřikrát dražší než plastová a dvakrát dražší než betonová.

Rozdíl mezi jednotlivými materiály je také u zatížitelnosti cesty nad propustkem. Zatížitelnost vozovky nad ocelovými a betonovými troubami je výrazně vyšší než u trub plastových, především pokud je výška násypu nízká. S hloubkou, ve které je propustek uložen, roste vliv rýhového zatížení a naopak klesá vliv zatížení dopravním prostředkem. Pokud tedy předpokládáme na cestě provoz těžké mechanizace, je vhodné využít betonové trouby. Tato varianta svými náklady není výrazně horší než trouba plastová, ale umožňuje větší zatížitelnost.

Z hlediska posouzení propustku pomocí software lze říci, že všechny metody zvažované v této práci udávají relativně shodné výsledky v porovnání s metodou referenční dle TP 232. Pro praktické použití se zdá nejvhodnější metoda posouzení s pomocí programu Autodesk Civil-3D a jeho rozšíření Hydraflow Express, která je časově velmi nenáročná a software je již běžně používán při návrhu. Program HEC-RAS je vhodný především v případě potřeby komplexnějšího řešení, zahrnujícího koryto vodoteče, případně je-li potřeba provést simulace průtoku. Velikou výhodou při využití této metody je dostupnost digitálního modelu terénu, který lze exportovat například ze zmíněného Civil-3D. V takovém případě odpadá nutnost modelovat koryto manuálně. Naopak nejméně vhodný je postup s využitím online kalkulátoru „online_culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method“, který navrhoval výrazně větší průměr propustku a je použitelný pouze pro betonová potrubí.

8. Použité zdroje a literatura

AUTODESK. Autodesk CIVIL-3D. Dostupné na [2021-03-28]:
<https://www.autodesk.com/products/civil-3d/features>

BALKHAM, M, FOSEBEARY, C, KITCHEN, A, RICKARD, C. Culvert design and operation guide. London: CIRIA, 2010. ISBN: 978-0-86017-689-3.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 736108 : Lesní cestní síť. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6133 : Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2010.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6220 : Evidence mostních objektů pozemních komunikací. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6221 : Prohlídky mostů pozemních komunikací. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6222 : Zatížitelnost mostů pozemních komunikací. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2013.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 73 6244 : Přechody mostů pozemních komunikací. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2010.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 75 1400 : Hydrologické údaje povrchových vod. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2014.

ČESKÝ ÚŘAD PRO NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ - ČSN 75 2106-1 Hrazení bystřin a strží - Část 1: Obecně : česká technická norma. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI -- ČSN 75 2106-2 : Hrazení bystřin a strží – Část 2: Navrhování konstrukcí a objektů hrazení bystřin a strží.. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN 75 9010 : Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2012.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 805 : Vodárenství – Požadavky na vnější síť a jejich součásti. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2001.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 1610 : Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2017.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 1991-1-1 : Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2004.

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. ČSN EN 1991-3 : Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2008.

Český Ústav Zeměměřičský a Katastrální. Nahlížení do katastru nemovitostí. Dostupné na [2021-03-28]: <https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/>

ESRI ArcGIS přehled. Dostupné na [2021-03-28]: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>

Federal Highway Administration. online_culvert: Hydraulic design of highway culverts by FHWA method. Dostupné na [2021-03-28]: <http://uon.sdsu.edu/onlineculvert.php>

HANÁK, K., BENEŠ, J., SKOUPIL, J., HERYNEK, J., HRŮZA, H., Zpřístupňování lesa vybrané statě I. – dotisk. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012.

HANÁK, K., SKOUPIL, J., ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V., ZUNA, J., Stavby pro plnění funkcí lesa. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o. 2008.

Hydrology engineering center. HEC-RAS. Dostupné na: [2021-03-28]: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

CHOCOL Š., LEHOVEC F., POŠVÁM J., RRONDOŠ L. Cesty a Dialnice I. Projektovanie. Bratislava: ALFA, 1989.

JAMES D. SCHALL, PHILIP L. THOMPSON, STEVE M. ZERGES, ROGER T. KILGORE, JOHNNY L. MORRIS. Hydraulic Design of Highway culverts Colorado: Federal Highway Administration, 2012.

MACURA, L. Výpočet prietokov v tokoch. Praha: Práce, 1958.

MINISTERSTVO DOPRAVY TKP kapitola 4 - Zemní práce. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací. MINISTERSTVO DOPRAVY, 2017. Dostupné na [202-04-06]: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_4_2017.pdf

MINISTERSTVO DOPRAVY TP 83 - Odvodnění pozemních komunikací. Technické podmínky. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY, 1997.

MINISTERSTVO DOPRAVY TP 94 – Úprava zemin. Technické podmínky. Praha: ARCADIS Geotechnika a.s., 2013.

MINISTERSTVO DOPRAVY TP 204 – Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích. Technické podmínky. Praha: VÚVH. T. G. M., 2009.

MINISTERSTVO DOPRAVY TP 232 - Propustky a mosty malých rozpětí. Technické podmínky. Brno. DYVIP Brno s. r. o. 2012.

MOSTKOV, M.A. Očerk teorii ruslovogo potoka. Izd. Ak. Nauk SSSR, 1959.

MTZ servis. Ceník na webu Zásoby MTZ Servis. Dostupné na [2021-03-28]: <https://www.mtz-servis.cz/soubor/cenik/>

SWECO HYDROPROJEKT A.S., IČ 26475081, Ing. Richard Schejbal, Ing. Tomáš Parkan, Technická normalizační komise: TNK 94 Vodárenství, TNK 95 Kanalizace, Pracovník Ministerstva zemědělství ČR: Ing. Vladimír Skácel, TNV 75 0211 : ODVĚTOVÁ TECHNICKÁ NORMA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ: NAVRHOVÁNÍ VODOVODNÍHO A KANALIZAČNÍHO POTRUBÍ ULOŽENÉHO V ZEMI - STATICKÝ VÝPOČET. Praha: Sweco Hydroprojekt a.s., 2000.

TPD 2019 PREFA-BRNO Technicke-podminky-dodaci TROUBY PROPUSTKU WEB.pdf Dostupné na [2021-03-28]: https://www.prefa.cz/wp-content/uploads/2020/04/PREFA-BRNO_Katalogove-listy_TROUBY_WEB.pdf

ÚRS. Cenová Soustava ÚRS 2021-II. Dostupné na [2021-03-28]: <https://www.urs.cz/software-a-data/cenova-soustava-urs>

Ústav pro Hospodářskou Úpravu Lesa. Zpřístupnění lesa. Dostupné na [2021-03-28]: http://www.uhul.cz/images/prehled_projektu/zpristupneni_lesa.doc

VOKURKA, A. ZLATUŠKA, K. (eds.) Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR & Česká společnost krajinných inženýrů, z. s., 2020. 94 s. ISBN 978-80-7434-557-9

VRÁNA K. Rybníky a účelové nádrže. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 978-80-01-04002-7

Vyhláška č. 104/1997 Sb - Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.

Vyhláška č. 239/2017 Sb. - Vyhláška o technických požadavcích pro stavby pro plnění funkcí lesa.

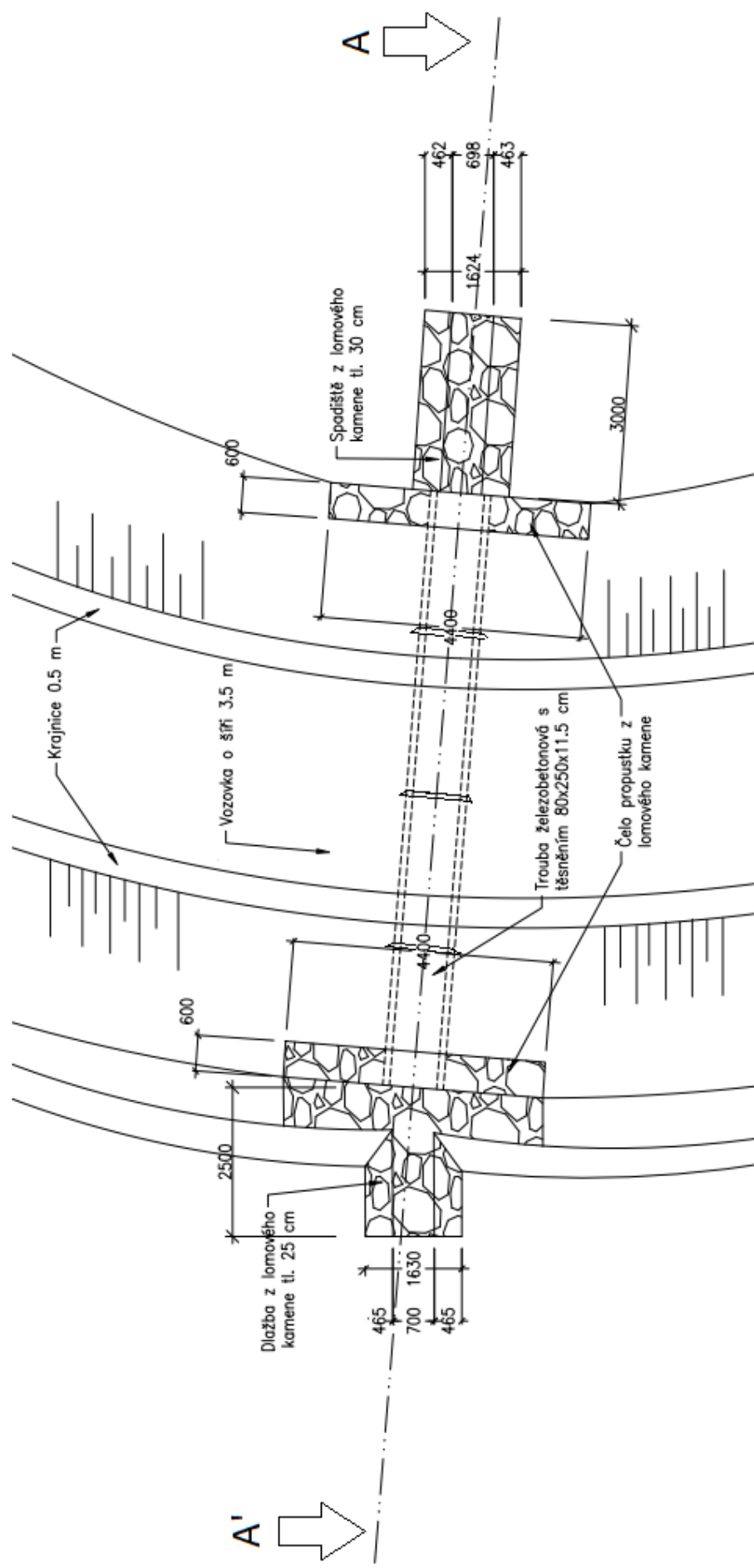
Wavin katalog inženýrské site gravitační kanalizační systémy. Dostupné na [2021-03-28]:
https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/08/wavin_-katalog_inzenyrske-site_gravitacni-kanalizacni-systemy.pdf

WILLIAM E. WEAVER, PHD. DANNY K. HAGANS. HANDBOOK FOR FOREST AND RANCH ROADS California: THE CALIFORNIA DEPARTMENT OF FORESTRY AND FIRE PROTECTION AND THE U.S.D.A. SOIL CONSERVATION SERVICE 1994

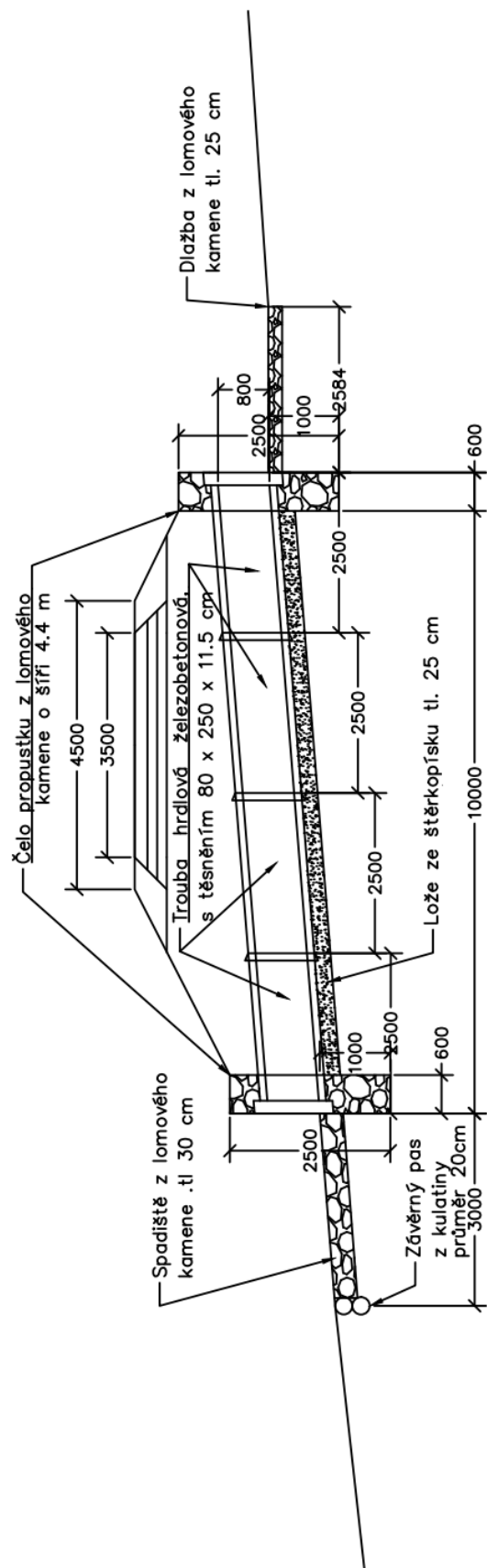
ZLATUŠKA, K. BYSTRICKÝ, R. JEŽEK, J. NATOV, P. SEKANINA, A. TOMÁNEK, J. Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě. Ministerstvo zemědělství ČR & Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, katedra lesnických technologií a staveb. 124 s. 2020. ISBN 978-80-7434-556-2

9. Přílohy

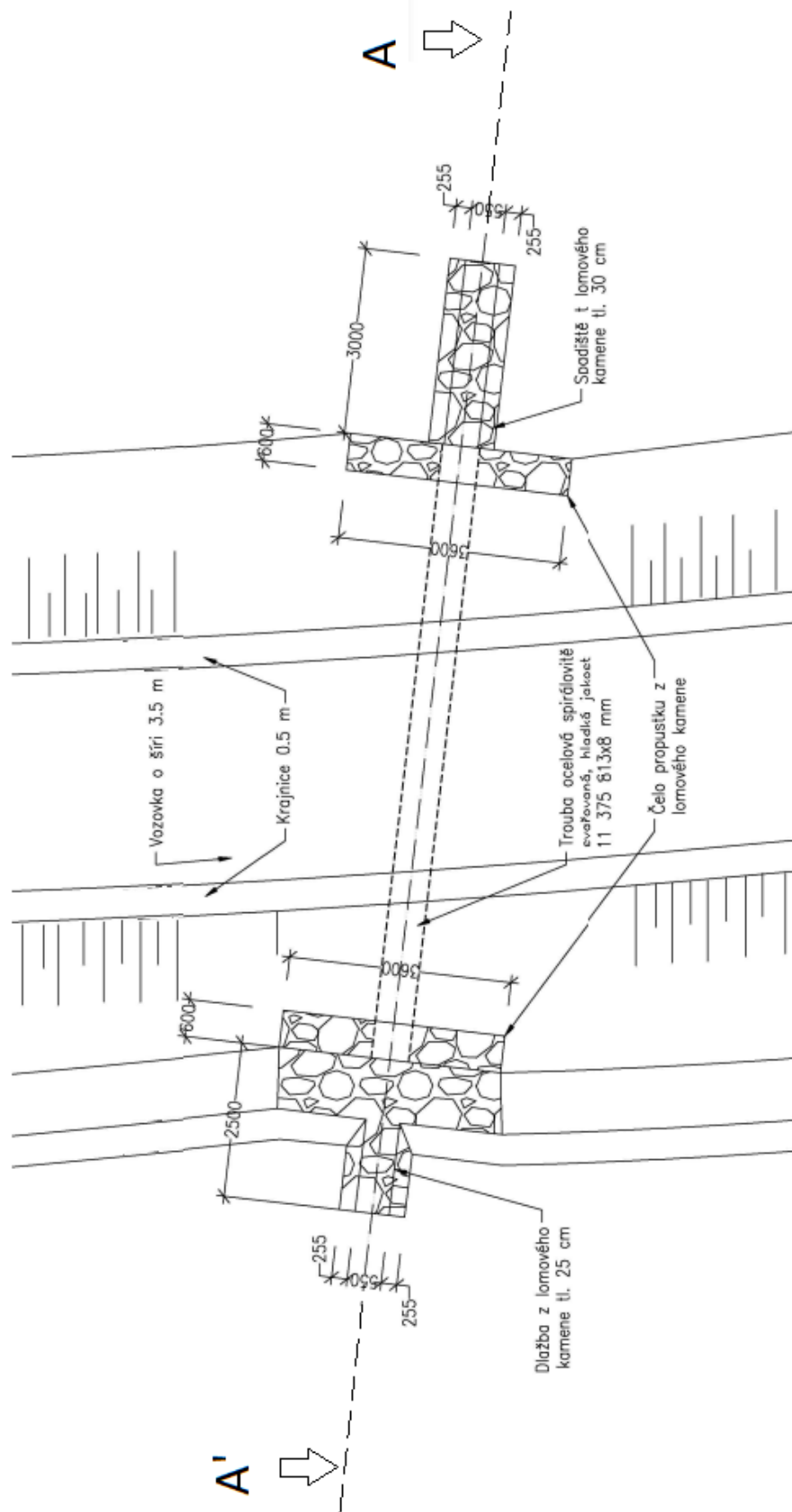
Vzorový výkres propustku lokalita č. 1 beton situace m 1:100



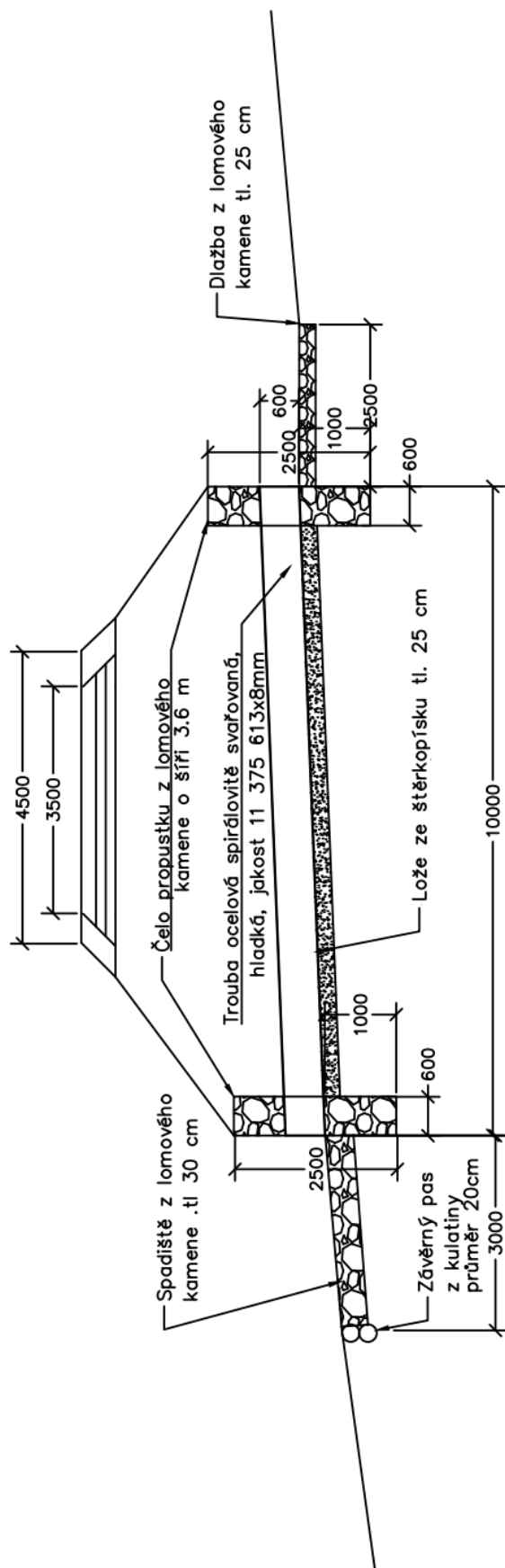
Vzorový výkres propustku lokalita
 č. 1 beton řez A – A' m 1:50



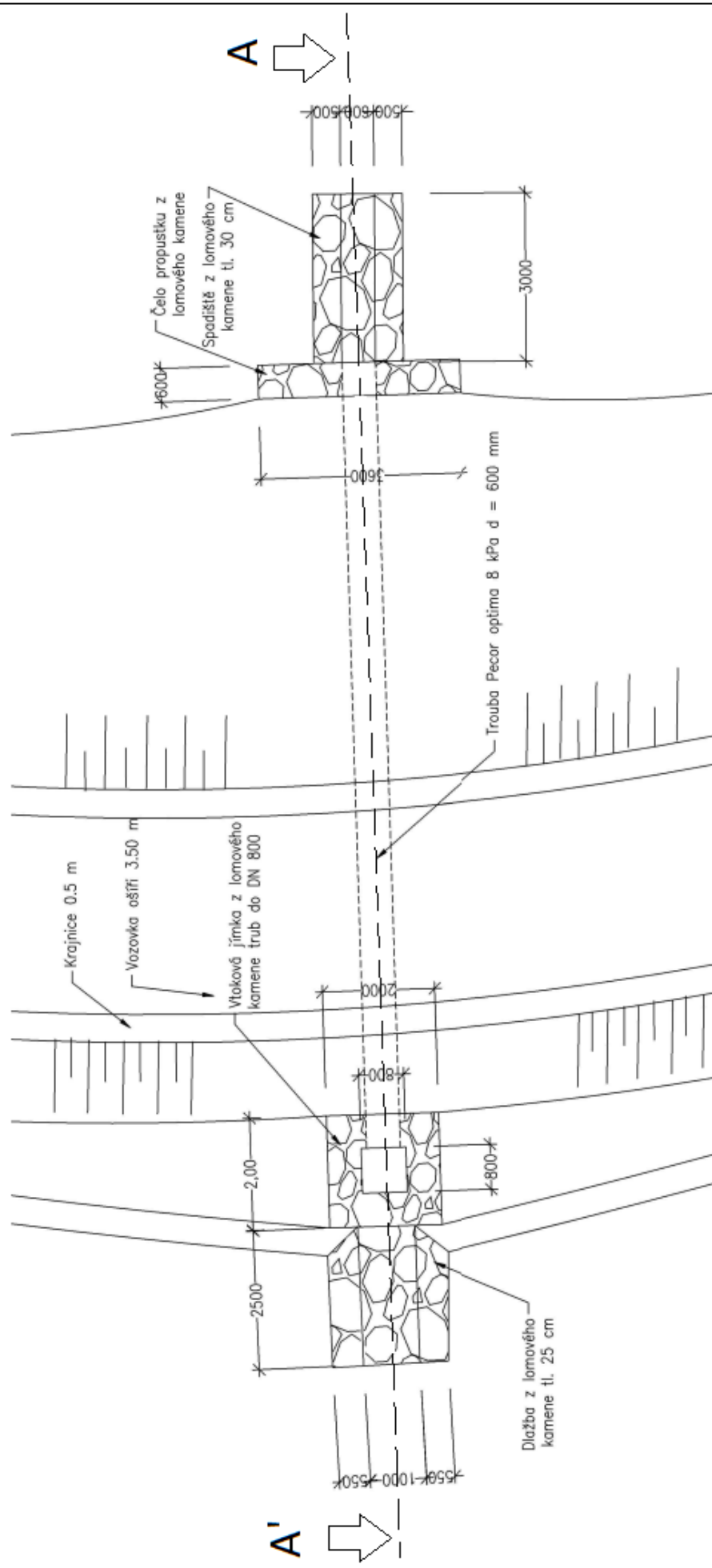
Vzorový výkres propustku lokalita č. 2 ocel situace m 1:100



Vzorový výkres propustku lokalioita
 č. 2 ocel řez A – A' m 1:50



Vzorový výkres propustku lokalita č. 3 plast situace m 1:100



Vzorový výkres propustku lokalita č. 3 plast řez A – A' m 1:50

